

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zavedení statistické regulace procesu
prostřednictvím statistického softwaru

The Implementation of Statistical Process Control
through Statistical Software

Student :	Petr Hellebrand
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Ivana Šajdlerová, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Hellebrand**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 10 Technologický management
Téma: Zavedení statistické regulace procesů prostřednictvím statistického softwaru
The Implementation of Statistical Process Control through Statistical Software
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika řešené problematiky. Základní pojmy.
2. Analýza současného stavu statistické regulace v podniku.
3. Vyhodnocení analýzy, identifikace problémů, důvody k přehodnocení stávajícího způsobu statistické regulace.
4. Vlastní návrhy zlepšení systému.
5. Celkové zhodnocení přínosu práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

NENADÁL, Jaroslav, Darja NOSKIEVIČOVÁ, Růžena PETŘÍKOVÁ, Jiří PLURA a Josef TOŠENOVSKÝ. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody [záznam b]*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
HUTYRA, M. a kol. *Management jakosti* [online]. © 2007 [vid. 2014-10-05]. Dostupný z [www: <URL: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FMMI/MJ/>](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FMMI/MJ/).
MICHÁLEK, Jiří, Jan KRÁL a Josef KŘEPELA. *Pokročilé metody SPC s příklady z praxe*. Vyd. 1. Praha: Česká společnost pro jakost, 2013. 196 s.
Statistická regulace procesů (SPC). Vyd. 2. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. 216 s. ISBN 80-02-01810-9.

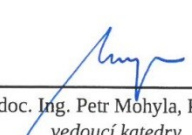
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ivana Šajdlerová, Ph.D.**


Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016





doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16. 5. 2016



.....
podpis

Petr Hellebrand

Ratibořská 28, 746 01, Opava 1

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016



.....
podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HELLEBRAND, P. *Zavedení statistické regulace procesu prostřednictvím statistického softwaru*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 79 s. Vedoucí práce: Šajdlerová, I.

Práce obsahuje teorii související se statistickou regulací a její návaznost na požadavky současného automobilového průmyslu. Dále se uvádí popis základní struktury mateřské společnosti KSR INTERNATIONAL CO., následně se zaměřím na aktuální stav statistické regulace v jedné z dceřiných společností KSR Industrial s. r. o., jenž bude předmětem implementace navržených opatření statistické regulace. Na základě nalezení a popisu slabých míst bylo v nově navrženém systému regulace provedeno vyhodnocení regulovaných znaků uvedené v technické zprávě. Vytvořené pracovní instrukce a souhrn teorie v práci a přílohách budou dále sloužit jako školicí materiály v organizaci. V závěru jsou shrnuty identifikované přínosy a současně vyčísleny ekonomické dopady nového řešení.

ANOTATION OF MASTER THESIS

HELLEBRAND, P. *The Implementation of Statistical Process Control through Statistical Software*: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 79 p. Thesis head: Šajdlerová, I.

Work includes the theory related to the statistical control and its continuity with the current requirements of the automotive industry. Further there is a description of the basic structure of the parent company KSR INTERNATIONAL CO., then I will concentrate on the current state of statistical control in one of the subsidiaries KSR Industrial s. r. o., which will be the subject to the implementation of the proposed measures of the statistical process control. Based on the findings and description of the weaknesses was the newly designed control system evaluated and regulated characters were listed in the technical report. Created work instructions and a summary of the theory at work and the Annexes will also serve as training materials in the organization. The conclusion summarizes the identified benefits and also quantifies the economic impact of the new solution.

Obsah

0	Úvod.....	14
1	Obecná charakteristika řešené problematiky	15
1.1	Proces.....	15
1.1.1	Regulovaný znak procesu	15
1.1.2	Informace z procesu.....	15
1.1.3	Preventivní opatření v procesu	16
1.1.4	Opatření na výstupu	16
1.2	Příčiny kolísání procesů.....	16
1.2.1	Náhodné příčiny kolísání (chance causes).....	18
	Detekce náhodných příčin.....	18
1.2.2	Systematické vlivy – vymežitelné příčiny kolísání (assignable causes) 18	
	Detekce zvláštních příčin	19
1.3	Výběr – logická podskupina (rational subgroup)	19
1.4	Rozsah výběru – rozsah podskupiny (subgroup size).....	19
1.5	Způsobilost procesů	20
1.6	Ukazatele procesů	21
1.7	Statistické řízení procesů	22
1.7.1	Cíle SPC.....	22
1.7.2	Základní princip a metody SPC	23
1.8	Regulační diagram	23
1.8.1	Základní druhy regulačních (Shewhartových) diagramů.....	24
1.8.2	Postup pro volbu regulačního diagramu	26
1.9	Zavedení statistické regulace	27
1.10	Druhy statistické regulace.....	27
1.10.1	Statistická regulace měřením	27
1.10.2	Statistická regulace srovnáváním.....	28

1.10.3	Fáze přípravy	28
1.10.4	Fáze analýzy a zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu	29
1.10.5	Výpočet výběrových charakteristik a hodnot v jednotlivých podskupinách	30
1.10.6	Výpočet centrálních průměrů a regulačních mezí.....	31
1.10.7	Popis regulačního diagramu \bar{X} R	32
1.10.8	Sestrojení regulačního diagramu a jeho analýza.....	32
1.10.9	Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu	35
1.10.10	Vlastní statistická regulace	35
1.10.11	Statistická regulace srovnáváním.....	35
1.11	Metoda porovnání v trojúhelníku párů	36
2	Analýza současného stavu.....	39
2.1	KSR INTERNATIONAL CO.....	39
2.2	KSR Industrial s.r.o	40
2.2.1	Rozdělení výrobních procesů projektu	41
2.2.2	Definice zvláštních znaků	41
2.2.3	Tvorba výrobní dokumentace	42
2.3	Statistická regulace	43
2.3.1	Přepis dat pro vyhodnocování.....	43
2.4	Analýza statistické regulace.....	44
2.4.1	Ochrana dat v regulačních kartách.....	44
2.4.2	Nedokonalá vazba na informace z regulovaných procesů.....	44
2.5	Vyhodnocení dlouhodobé způsobilosti.....	44
2.6	Analýza vyhodnocení dlouhodobé způsobilosti	45
2.6.1	Časová náročnost	45
2.6.2	Omezený přístup k dlouhodobé způsobilosti.....	45
2.6.3	Náklady současného stavu	45

3	Vyhodnocení analýzy	47
3.1	Vyhodnocení analýzy SPC	47
3.2	Metoda porovnání v trojúhelníku párů	47
4	Vlastní návrhy zlepšení systému	51
4.1	Softwarové řešení statistické regulace	51
4.2	Přiřazení měřicích plánů	52
4.3	Definice názvů měřicích plánů	52
4.4	Volba vhodného rozsahu výběru	53
4.5	Volba kontrolního intervalu	53
4.6	Volba typu regulačního diagramu	53
4.7	Sběr a záznam dat	55
4.8	Vyhodnocení předběžné a dlouhodobé způsobilosti procesů	55
4.8.1	Vyhodnocení variabilních znaků	55
4.8.2	Vyhodnocení atributivních znaků	56
4.9	Analýza jednotlivých regulačních znaků	56
4.9.1	Filtrace zobrazení RD	56
4.9.2	Regulační karta	57
4.9.3	Histogram	57
4.9.4	Test normálního rozdělení	59
4.9.5	Pareto analýza	59
4.9.6	Naměřené hodnoty	60
4.9.7	Tisk	60
4.9.8	Pracovní instrukce pro zavedení SPC	61
5	Celkové zhodnocení přínosu práce	62
5.1	Souhrn teorie týkající SPC	62
5.2	Softwarové řešení statistické regulace	62
5.3	Přiřazení měřicích plánů	62

5.4	Volba vhodného rozsahu výběru	63
5.5	Volba kontrolního intervalu	63
5.6	Volba typu regulačního diagramu	63
5.7	Vyhodnocení předběžné a dlouhodobé způsobilosti procesů	63
5.7.1	Vyhodnocení variabilních znaků	63
5.7.2	Vyhodnocení atributivních znaků	63
5.8	Analýza jednotlivých regulačních znaků	63
5.8.1	Filtrace zobrazení RD	64
5.8.2	Histogram	64
5.8.3	Test normálního rozdělení	64
5.8.4	Pareto analýza	64
5.8.5	Naměřené hodnoty	64
5.8.6	Tisk	64
5.8.7	Pracovní instrukce pro zavedení SPC	65
5.9	Vyhodnocení regulace ve vztahu ke spokojenosti zákazníka	65
5.9.1	Snížení počtu reklamací	65
5.9.2	Rychlý online přístup	65
5.9.3	Zpětná vazba pro kvalitu jednotlivých inspektorů kvality	65
5.10	Ekonomický přínos práce	65
6	Závěr	67
7	Poděkování	68
8	Seznam použitých pramenů	69
9	Seznam obrázků	71
10	Seznam tabulek	72
11	Seznam příloh	73

Seznam použitých značek a symbolů

APEC	- zvláštní znak KSR, kontrola se provádí porovnáním bez číselné hodnoty (dobrý, špatný) – atributivní data
c	- regulační diagram počet neshodných jednotek v podskupině
c	- počet neshod v podskupině
\bar{c}	- průměrný počet neshod v podskupinách o konstantním rozsahu
c_i	- počet neshod v i-té podskupině
CL	- (centerline) centrální přímka
C_p	- (Process Capability) ukazatel způsobilosti nezohledňuje polohu
C_{pk}	- (Process Capability Index) ukazatel způsobilosti zohledňuje polohu
ČSN	- česká státní norma
D-FMEA	- je analýza možných způsobů a důsledků poruch při návrhu produktu (metoda k preventivnímu předcházení závad)
ISO	- (international standard organisation) Mezinárodní organizace pro normalizaci
JIT	- (Just in Time) nebo-li právě včas, logistický systém dodávek s minimálními skladovými zásobami
k	- počet podskupin
KPEC	- kritický znak KSR, znak musí být nutná 100% kontrola nebo statistická kontrola SPC, rozměr musí být měřen na měřidle, které vyjadřuje číselnou hodnotu (např. mm, Nm) – variabilní data
KSR	- KSR Industrial s.r.o, je výrobní závod sídlící v Opavě v České republice
LCL	- (lower control limit) dolní regulační mez
LSL	- (lower specification limit) dolní toleranční mez
Me	- Medián v podskupině
\overline{Me}	- průměrná hodnota mediánů v podskupině

Me(x)	- je ta hodnota argumentu X, která rozděluje soubor uspořádaný na dvě části o stejném počtu prvků. Má-li soubor sudý počet prvků, považuje se za medián průměrná hodnota prostředních dvou.
n	- rozsah podskupiny (výběru)
np	- počet neshodných jednotek v podskupině o rozsahu n
np	- regulační diagram pro počet neshodných jednotek
p	- podíl neshodných jednotek v podskupině rozsahu n
p	- regulační diagram pro podíl neshodných jednotek
\bar{p}	- průměrný podíl neshodných jednotek v podskupinách n
P_p	- (Process Performance) ukazatel kvalitativní výkonnosti procesu
P_{pk}	- (Process Performance index) ukazatel kvalitativní výkonnosti procesu přihlíží k poloze
R	- (variační) rozpětí v podskupině
\bar{R}	- průměrná hodnota rozpětí v podskupinách
RD	- regulační digram
S	- směrodatná odchylka
s	- výběrová směrodatná odchylka v podskupině
\bar{s}	- průměrná hodnota výběrových směrodatných odchylek v podskupině
SOP	- (Start of Production) - zahájení sériové produkce
SPC	- (Statistical Process Control) - statistická regulace procesu
TQC	- (Total Quality Control) - činnost vedoucí ke zdokonalení celého podniku v rámci konceptu KAIZEN
u	- Regulační diagram pro počet neshod na jednotku v podskupině
\bar{u}	- Průměrný počet neshod na jednotku v podskupinách
UCL	- (upper control limit) horní regulační mez
USL	- (upper specification limit) horní toleranční mez

X_i	- měřená hodnota i-tého znaku $i=1,2 \dots n$
\overline{X}	- průměrná hodnota znaku v podskupině, tj. aritmetický průměr
X	- hodnota měřeného znaku $X_1, X_2 \dots X_n$
μ	- skutečná střední hodnota výrobního procesu
σ	- skutečná hodnota směrodatné odchylky výrobního procesu uvnitř podskupin

0 Úvod

V současné globalizované době se na trhu vyskytuje velké množství výrobců. Nabídka převyšuje poptávku, což přirozeně vyvolává dlouhodobě stoupající požadavky na výrobce v podobě dodržování zákonných předpisů a ustanovení. Tlak na kvalitu dodávaných výrobků a služeb je každodenní nutností a základním kamenem budoucnosti dnešních firem. Mezi stěžejní normy kvality v automobilovém průmyslu patří splnění certifikace dle ČSN EN ISO 9001:2016 - Systémy managementu kvality – Požadavky a ISO 14001:2015 - Management životního prostředí. Pokud se zaměříme na oblast dodavatelů v rámci automobilového průmyslu, je vyžadovaná certifikace systému managementu kvality dle ISO /TS 16949:2009. A v neposlední řadě je nutné zohlednit specifické požadavky každého zákazníka čili automobilek, které jsou součástí koncernů.

Výše uvedený výčet certifikací nezajišťuje automaticky, že daný výrobce je kvalitativně i kvantitativně způsobilý, neboť někteří výrobci naplňují certifikační požadavky norem jen po stránce systému a to z důvodu, že úspěšné certifikace jejich systémů jsou nutnou podmínkou při výběrových řízeních jejich zákazníků.

Dále je nutné zohlednit velký tlak na cenu výsledného produktu. Prodejní cena se v rámci dohodnutého kontraktu s automobilovým koncernem neustále snižuje a to i při současném trendu zkracování výrobního cyklu jednotlivých modelů automobilů. Posledním aspektem je požadavek na dodávky v režimu JIT s vysokou variabilitou objednávek.

Cílem diplomové práce je navrhnout využití metod statistické regulace a aplikovat ho na jednu z dodavatelských firem automobilového průmyslu.

Diplomová práce má zároveň sloužit jako návod pro statistickou regulaci procesů v rámci společnosti a z ekonomického hlediska se takto zavedený systém má pozitivně projevit na vyšší stabilitě všech využívaných procesů a současně vést ke snížení nákladů spojených s interními a externími reklamacemi dílů. Stěžejním cílem tedy není pouze navýšení zisku, nýbrž zajištění spokojenosti koncového zákazníka.

1 Obecná charakteristika řešené problematiky

Kapitola popisuje základní teoretické informace týkající se procesů. Dále je v kapitole uveden popis, volby a výpočty vzorců regulačních diagramů. Zbývající část kapitoly obsahuje popis metody porovnání v trojúhelníku párů, která je v následujících kapitolách využita pro vyhodnocení slabých míst současného řešení statistické regulace.

1.1 Proces

Proces, za tímto termínem se skrývá přeměna vstupů na výstupy a to včetně všech vlivů, jako jsou dodavatelé materiálů, výrobních zařízení, zaměstnanci, způsob transportu, použité metody a prostředí, které přímo či nepřímo ovlivňují konečný výsledek jak kvalitativní, tak kvantitativní na výstupu z procesu. Zahrnuje v sobě všechny vlivy působící na výstup.

Mezi důležité aspekty procesu patří komunikace mezi zákazníkem a jeho dodavatelem, jako i možnost samotný proces řídit a současně regulovat, včetně způsobu jakým byl proces navržen a jak byla provedena jeho realizace. V neposlední řadě jak funguje a zda regulace přispívá ke stabilizaci a nápravě procesu. [1]

1.1.1 Regulovaný znak procesu

Regulovaný znak procesu charakterizuje daný proces na jeho výstupu. Znaky mohou být buď měřitelné, vyjádřené hodnotou (v mm, MPa, °C) s definovanou tolerancí tzv. kvantitativní znaky. Regulace je prováděna za pomoci měřených hodnot nebo znaky mohou být regulovány za pomoci vyjádření počtu shodných nebo neshodných jednotek tzv. kvalitativní znaky. Regulace se provádí metodou srovnání. [1, 4]

1.1.2 Informace z procesu

O regulovaném procesu musíme znát nejenom parametry, které ho ovlivňují jako např. tlak, teplota, délka zdvihu, přítlak, ale především je nutné analyzovat výstupy z procesů. Dále definujeme ideální hodnoty pro sledované znaky a ty pak kontrolujeme s cílem přiblížit se nadefinovaným hodnotám a sledujeme odchylky od těchto ideálních hodnot. Důležité je správně vyhodnotit takto získané informace a zjistit, zda je proces v obvyklých nebo neobvyklých stavech. [1]

1.1.3 Preventivní opatření v procesu

Jedná se o zásahy, které jsou nejméně nákladné a působí preventivním způsobem tak, aby nedocházelo ke kolísání na výstupu z procesu. Tyto opatření vedou k požadované stabilitě procesu, který se drží v požadovaných hranicích.

Mezi takovéto opatření patří:

- Změny v operacích
- Zaškolení obsluhy
- Změna vstupního materiálu

Změny základní struktury regulovaného procesu

- Strojů
- Vzájemná spolupráce pracovníků a jejich vztahy
- Nový návrh celého procesu včetně změny okolního prostředí (teplota, relativní vlhkost)

1.1.4 Opatření na výstupu

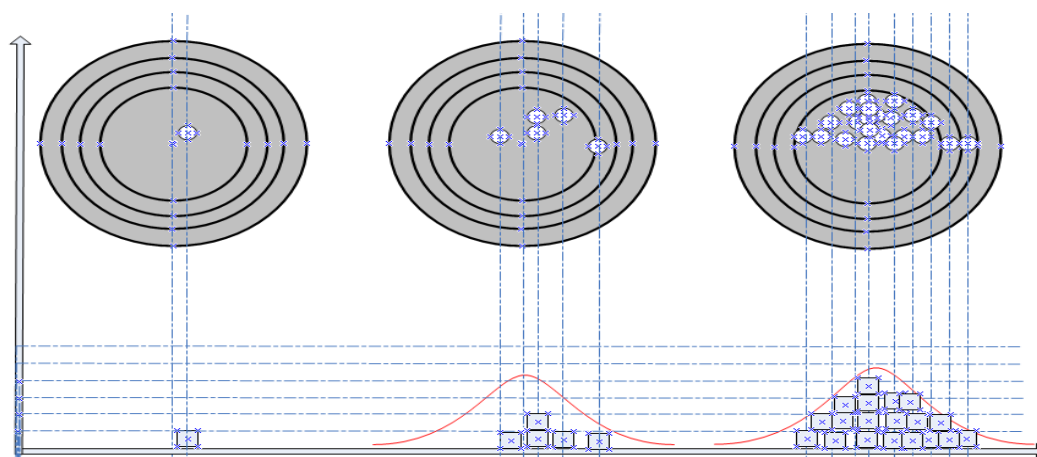
Tyto opatření jsou velice nákladné, nejedná se o preventivní opatření, ale zaměřují se pouze na odhalování neshodných dílů. Používají se v případech, kdy je proces nestabilní nebo nezpůsobilý. Jsou nasazeny do té doby, než jsou zavedena nápravná opatření v procesu.

1.2 Příčiny kolísání procesů

Žádné dva vyrobené výrobky za sebou, byť i v krátkém časovém odstupu, nejsou vyrobené v naprosto stejných podmínkách, neboť do procesu výroby vstupuje velké množství vlivů, které v rámci jednotlivých výrobních cyklů kolísá. Například dochází k opotřebení nástroje při obrábění, dochází ke kolísání provozního tlaku, napětí v elektrickém rozvodu, vůlí v rámci stroje, rozdílného materiálového složení, výrobní vůlí stroje, rozdílu v okolní teplotě, relativní vlhkosti okolního prostředí, změny v obsluze stroje a celé řadě větších i méně patrných změn a další parametry, které mají za konečný důsledek rozdílnou kvalitu sledovaných parametrů na výstupu z procesů. Toto kolísání může působit skokově nebo v dlouhodobém intervalu.

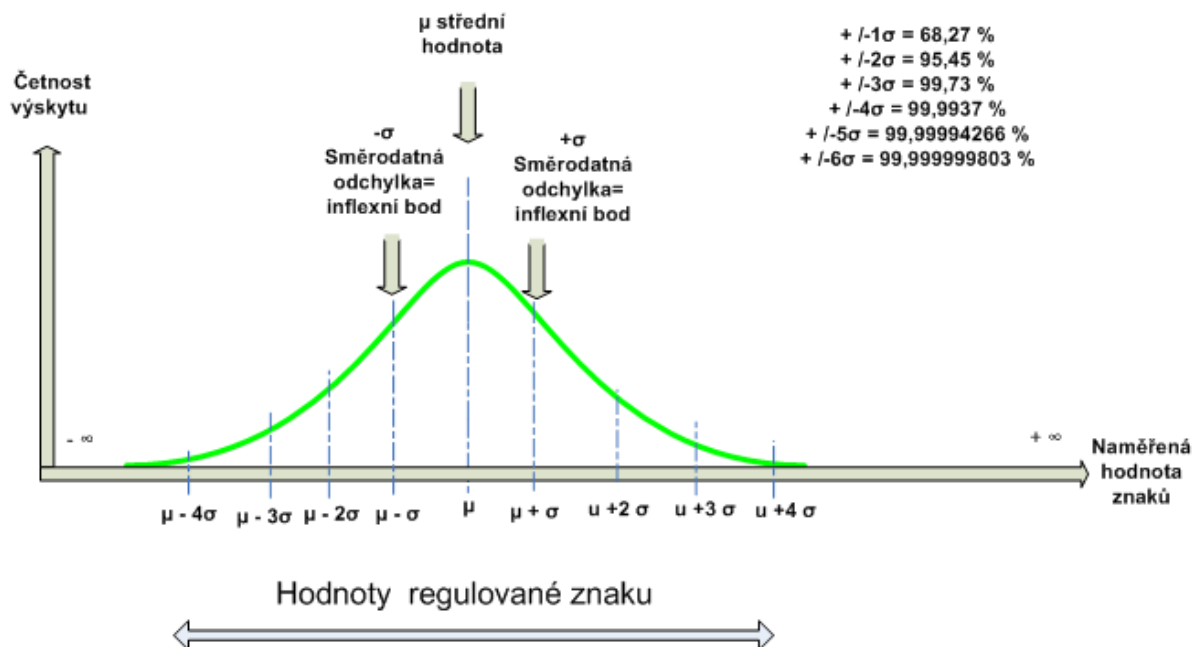
Pokud měříme hodnoty regulovaného znaku jakosti, zjišťujeme, že se vzájemně liší. Nabývají maximální nebo minimální hodnoty. Pokud tyto hodnoty zapisujeme do grafu, kde jedna osa tvoří četnost (počet naměřených hodnot) a na druhou osu vynášíme hodnotu

naměřeného znaku, tak vznikne tvar, kterému říkáme rozdělení. Princip nanášení hodnot je na obrázku 1.



Obrázek 1 – Rozdělení

Pokud naměřené hodnoty nabývají největšího počtu a pozvolně pak počty klesají od střední hodnoty, hovoříme o tzv. „Gausově rozdělení“, a to má tvar Gaussovy-Laplaceovy křivky. Základní termíny normálního rozdělení jako je střední hodnota a směrodatná odchylka jsou uvedeny na obrázku 2. [5]



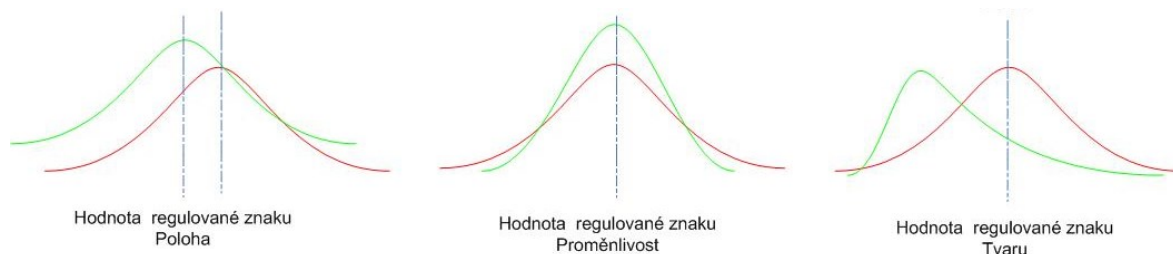
Obrázek 2 – Normální rozdělení [3,5,15]

Základní charakteristiky statistického souboru vyjadřují:

Poloha znaku - poloha vůči střední hodnotě měřeného souboru

Rozpětí znaků - jedná se o rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou

Tvarem křivky - její symetričností, popřípadě šikmostí



Obrázek 3 – Změny v rozdělení dat dle rozdílných hledisek

1.2.1 Náhodné příčiny kolísání (chance causes)

Tyto příčiny mají za následek působení vlivů, které se vzájemně potlačují nebo působí společně a to zapříčiňuje kolísání na výstupu z procesu, které následně vede k normálnímu rozdělení výsledných dat. Aby se dalo vyhodnotit, jak působí náhodné příčiny, musí platit podmínka, že výskyt těchto vlivů v procesu je trvalý, výstup statistický a předvídatelný v čase.

Detekce náhodných příčin

Pro objasnění výskytu je nutná hlubší analýza problému, jednoduché statistické metody mohou vymezit pouze rozsah tohoto druhu kolísání. Pracovníci v procesu přispívají k nalezení příčin, ale systémové řešení spadá plně do kompetence vedení firmy.

Mezi náhodné příčiny například patří:

- Vlhkost prostředí
- Prašnost prostředí
- Materiálové vlastnosti
- Teplota prostředí

1.2.2 Systematické vlivy – vymežitelné příčiny kolísání (assignable causes)

Tato množina vlivů se dá zařadit do oblasti vlivů, které se vyskytují nepravidelně. Mají za důsledek vychýlení procesu na některou z regulovaných stran tolerance a rozkolísání měřených dat, což vede k nestabilnímu procesu.

V některých výjimečných případech platí, že toto vychýlení je naopak žádoucí. Musí být nalezena příčina a jasně popsána. Tato zjištěná skutečnost se musí stát trvalou součástí procesů.

Detekce zvláštních příčin

Zvláštní příčiny je možné detekovat jednoduchými statistickými metodami. Ve většině případů toto kolísání lze odstranit opatřeními provedenými přímo v procesu pracovníky, kteří jsou zodpovědní za příslušnou výrobní operaci. Zbylé vlivy již musí být odstraněny za spolupráce vedení firmy.

Mezi zvláštní příčiny například patří:

- Pochybení obsluhy
- Závada na výrobním zařízení
- Nedostatečně proškolený pracovník
- Materiálové vady
- Pochybení v konstrukci stroje nebo nástroje

1.3 Výběr – logická podskupina (rational subgroup)

Za takovouto podskupinu lze považovat skupinu jednotek, na něž působí stejné náhodné příčiny vlivů.

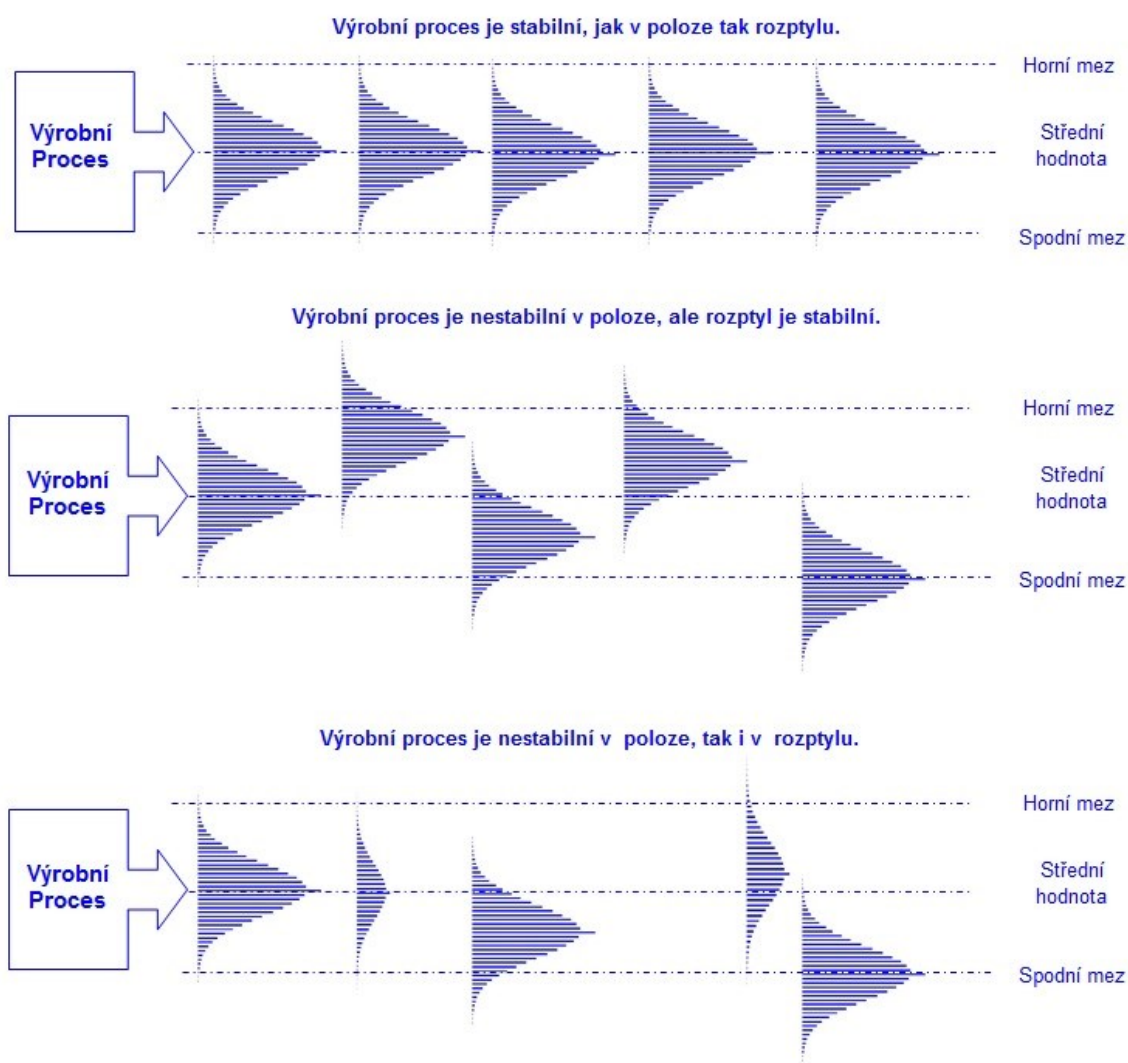
1.4 Rozsah výběru – rozsah podskupiny (subgroup size)

Norma ČSN ISO 8258 doporučuje tento rozsah $n = 4$ popřípadě 5. Počet regulovaných hodnot v rámci jednoho měření podskupiny je možné upravit dle potřeby tabulky součinitelů v rozsahu $n = 2$ až 25. Zdůrazňuje se zásada, že rozsah výběru je nutné neměnit při zavedení statistické regulace.

1.5 Způsobnost procesů



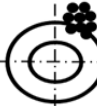

Zda je proces statisticky zvládnutý je předmětem způsobilosti procesu. Opakem je proces statisticky nezvládnutý. Abychom mohli hovořit o procesu statisticky zvládnutém, je potřeba splnit podmínku, že kolísání procesu způsobují pouze náhodné příčiny kolísání a výsledky jsou odhadnutelné v čase. Důležitým parametrem je poloha procesu. Pro stabilizaci procesu je nutné upravit jeho polohu vzhledem k požadovaným zákaznickým požadavkům.

K vysvětlení termínů kolísání stability a polohy využívám obrázek 4, který graficky popisuje výše uvedené termíny.



Obrázek 4 – Způsobnost procesů [10]

Každý z procesů spadá do čtyř základních kategorií, které se liší od sebe na základě toho, zda je proces statisticky zvládnutelný nebo nezvládnutelný a současně rozhoduje o stabilitě polohy a rozptylu proměnlivosti naměřených dat. Pro vysvětlení jednotlivých termínů uvádím na obrázku 5 všechny možné kombinace. Terče na obrázku vyjadřují hranice regulačních mezí, naměřená data, jejich polohy a kolísání jsou vyjádřeny zásahy na jednotlivých terčích.

		Proces statisticky zvládnutelný	Shodné	Proces statisticky nezvládnutelný	Neshodné	
Způsobnost	Přijatelná	Poloha Dobrá / V toleranci		Poloha Dobrá / V toleranci		Přesné
		Proměnlivost Malá		Proměnlivost Velká		
	Nepřijatelná	Poloha Dobrá / Mimo toleranci		Poloha Špatná / Mimo toleranci		Nepřesné
		Proměnlivost Malá		Proměnlivost Velká		

Obrázek 5 – Způsobnost procesů versus stabilita procesů [1, autor]

1.6 Ukazatele procesů

Základní podmínkou použití těchto ukazatelů je, aby procesy byly ve statisticky zvládnutelném stavu. Platí dvě zásady:

- 1) Neexistuje pouze jeden univerzálně platný ukazatel, který by se dal použít pro všechny procesy.**
- 2) Je nutné použít kombinaci více ukazatelů pro vyhodnocení.**

Každý z automobilových koncernů má odlišné požadavky na tyto ukazatele. Tabulka 1 ukazuje základní dělení indexů:

- P_p – (Process performance) ukazatel kvalitativní výkonnosti proces
není ovlivněna polohou.
- P_{pk} – (Process performance) ukazatel kvalitativní výkonnosti procesu přihlíží k poloze.
- C_p – (Process capability) ukazatel způsobilosti zohledňuje variabilitu procesu.
- C_{pk} – (Process capability) ukazatel způsobilosti procesu přihlíží k poloze.
- PPM – (parts per million) počet neshodných dílů na milion vyrobených
a jejich základní výpočtové vzorce jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 – Ukazatele procesů [16]

Označení ukazatelů způsobilosti	Název (v Anglickém jazyce) [16]	Název (v českém jazyce) [1]	Výpočtový vzorec *, **	Popis **
P_p	Process performance	Ukazatel výkonosti procesu	$P_p = PPU = \frac{(USL-LSL)}{6\hat{\sigma}_p} PPL = \frac{(USL-LSL)}{6s} (1)$	Ukazatel (kvalitativní) výkonosti procesu, tzv. potenciál procesu, který může proces dosáhnout (při vytřídění). <u>Hodnota není ovlivněna polohou procesu</u>
P_{pk}	Process performance	Ukazatel výkonosti procesu	$P_{pk} = \min \left(\frac{(USL-\bar{X})}{3\sigma_p}; \frac{(\bar{X}-LSL)}{3\sigma_p} \right) ****$ (2)	Ukazatel (kvalitativní) výkonosti procesu, vyčísluje tzv. potenciál procesu, který proces dosahuje (při vytřídění). <u>Přihlíží i k poloze procesu</u>
C_p	Process capability	Ukazatel způsobilosti	$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL-LSL}{6(\frac{R}{d_2})}$ (3)	Ukazatel (kvalitativní) výkonosti procesu, vyčísluje tzv. způsobilost procesu, který může proces dosáhnout (při vytřídění). <u>Hodnota není ovlivněna polohou procesu</u>
C_{pk}	Process capability	Ukazatel způsobilosti	$C_{pk} = \min \left(\frac{(USL-\bar{X})}{3\sigma_c} \right) = \left(\frac{(\bar{X}-LSL)}{6(\frac{R}{d_2})} \right)$ (4)	Ukazatel (kvalitativní) způsobilosti procesu, vyčísluje tzv. potenciál procesu, který může proces dosahuje (při vytřídění). <u>Přihlíží i k poloze procesu</u>
PPM	parts per million	počet neshodných jednotek na jeden milion vyrobených	$PPM = \left(\frac{\text{počet neshodných dílů}}{\text{počet vyrobených dílů}} \right) * 10^6$	Vyjadřuje poměr neshodných dílů (jednotek) na milion vyrobených dílů. Je požadováno normální rozdělení.
<p>* Ukazatele jsou platné pouze pro procesy ve statisticky zvládnutém stavu. Vzorce jsou platné pro případy, kdy technické specifikaci určuje horní a dolní mezní hodnoty</p> <p>** Pro proces statisticky nezvládnutý mohou být ukazatele zcela zavádějící</p> <p>*** Pro případy jednostranných mezních hodnot, kdy je definovaná pouze dolní nebo horní hodnoty se musí použít odlišné vzorce dle [1, 16]</p> <p>**** P_{pk} odpovídá menší hodnotě z PPU nebo PPL</p>				

1.7 Statistické řízení procesů

Statistic Process Control - statistická regulace procesu (dále v textu jen jako SPC) je kvalitativní preventivní nástroj, který umožňuje řízení a zpětnou regulaci na základě odhalování významných odchylek ve výrobním procesu. Tento nástroj nahrazuje v hromadné výrobě 100% kontrolu, která je často neefektivní, časově i nákladově náročná. SPC metoda kromě provádění kontroly výrobku na výstupu na základě získaných informací dává zpětnou vazbu, která umožňuje dlouhodobě stabilizovat výrobní proces a držet ho stabilní a na přípustné úrovni.

1.7.1 Cíle SPC

- Zjistit, kde se daný výrobní proces nachází.
- Zjištění příčin kolísání procesu.
- Na základě zpětné vazby proces stabilizovat do požadované podoby.
- Proces dlouhodobě udržet v požadovaných mezích na základě výše uvedených bodů.

1.7.2 Základní princip a metody SPC

- Z výrobního procesu jsou odebrány kusy s definovaným množstvím a časem v pravidelných, předem definovaných intervalech a pořadí.

Například 5 kusů co 4 hodiny

- Každá odebrána podskupina musí být tvořena stejným druhem a typem výrobku a na všech výrobcích musí být měřen stejný znak jakosti.

Například měření boční pozice v mm brzdové sestavy

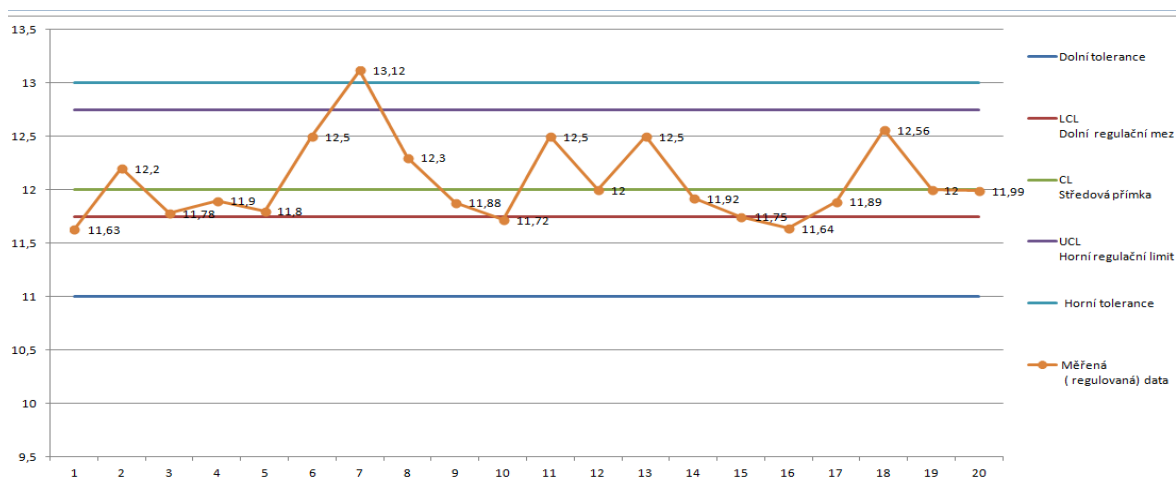
- Vypočtené hodnoty z naměřených údajů se přenáší do grafu, kde hodnoty z jedné podskupiny měření tvoří na grafu jeden bod. Tyto grafy se nazývají regulační diagram, neboť se za jejich pomoci proces reguluje.
- Poloha bodu v regulačním diagramu odhaluje zvláštní zdroje kolísání procesu.

1.8 Regulační diagram

Regulační digram (dále jen v textu jako RD) je grafický prostředek, do kterého jsou zapisovány hodnoty za účelem statistického vyhodnocení, využívající principu statistických testů významnosti. Metoda byla poprvé použita Dr.Walterem Shewhartem v roce 1924. [14]

RD tvoří tři hlavní přímky, které jsou zobrazeny na obrázku 6:

- Dolní regulační mez (LCL),
- Horní regulační mez (UCL),
- Centrální přímka (CL).



Obrázek 6 – Regulační diagram

- Do grafu RD se zapisují jednotlivé body 1, 2, 3 až 20.
- Jednotlivé body v RD představují údaje získané z jedné podskupiny.
- Podskupinu tvoří pevně stanový počet $n = 2, 3, 4, 5$, atd. měření porovnání vad.
- Na základě měření nebo porovnáním počtu jednotlivých vad se vytvoří jednotlivé body v RD.
- Mezery mezi těmito čísly představují časové intervaly nebo jednotlivé výrobní dávky.

1.8.1 Základní druhy regulačních (Shewhartových) diagramů

Existují v podstatě dva základní druhy RD:

- Atributivní (srovnávací) znaky,
- Variabilní (měřitelné) znaky.

Pro každý z těchto základních RD existují dvě základní situace:

- Základní hodnoty jsou stanoveny.
- Základní hodnoty nejsou stanoveny.

Základní druhy RD pro atributivní (srovnávací) znaky jsou popsány v tabulce 2. RD pro variabilní (měřitelné) znaky jsou uvedeny v tabulce 3, tato tabulka je v příloze A současně doplněna o výpočtové vzorce.

Tabulka 2 – Základní typy regulačních diagramů pro atributivní veličiny

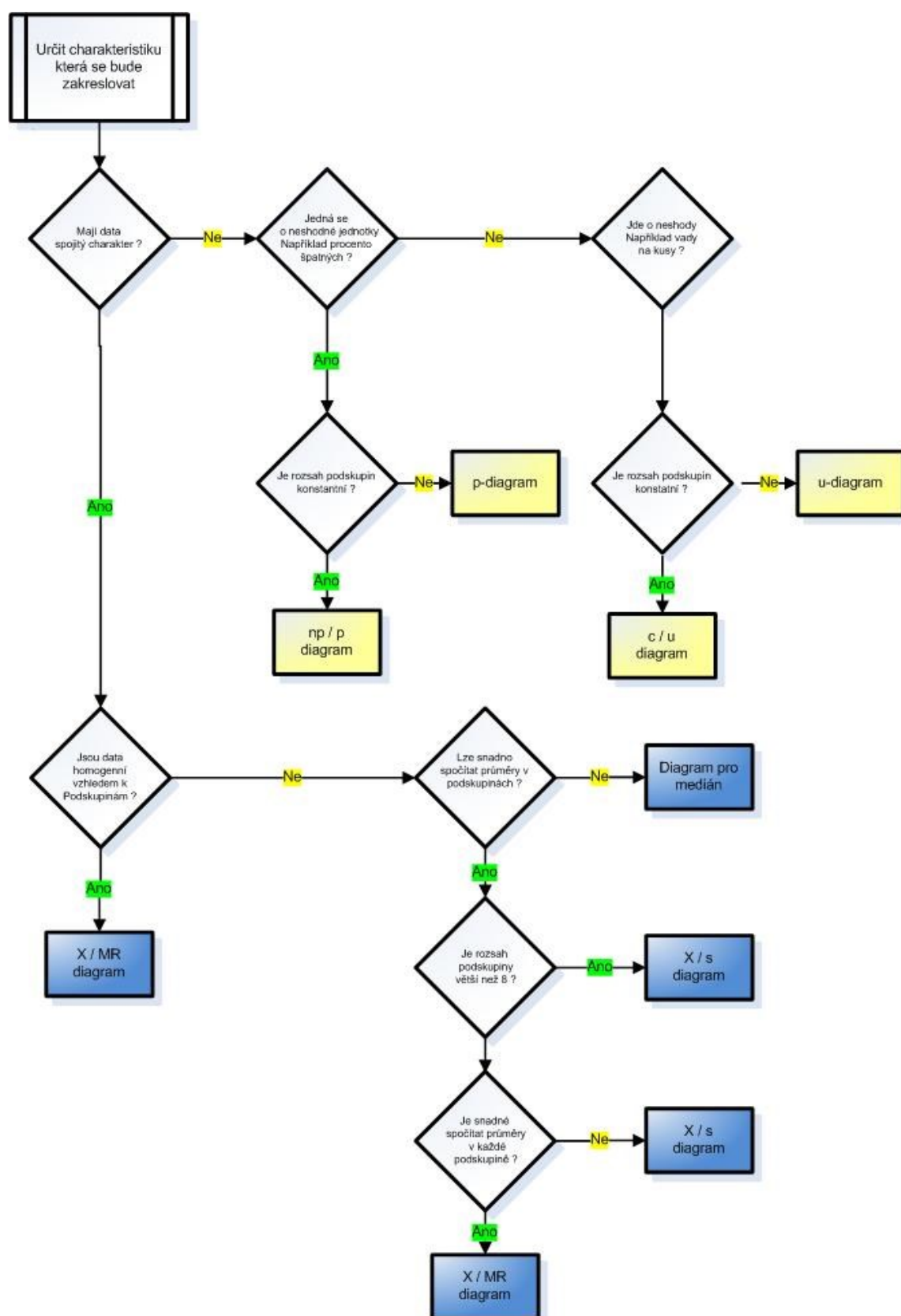
Atributivní veličiny	Rozsah	Počet/podíl chybných jednotek	Počet chyb na jednotku
	Konstantní rozsah podskupiny/ výrobní dávky	np - regulační diagram	c - regulační diagram
	Různý rozsah podskupiny/ výrobní dávky	p - regulační diagram	u - regulační diagram

Tabulka 3 – Základní typy regulačních diagramů

Regulační diagramy	Regulovaná veličina	Typ regulačního diagramu	Označení dle SPC [16, 1]	Popis diagramu
	Regulační diagramy pro spojité veličiny	Regulační diagram průměru a rozpětí	\bar{X}, R	Regulační karta používaná pro menší rozsahy podskupin, zpravidla pět a méně. Pro <u>regulační diagram polohy</u> sledovaného znaku je použit <u>aritmetický průměr</u> vypočtený z podskupiny. Pro <u>regulační diagram variability</u> je použito <u>varianční rozpětí</u> vypočtené jako rozdíl největší a nejmenší hodnoty podskupiny. <u>Výhodou</u> je možná aplikace bez potřeby počítačové podpory, len s použitím kalkulačky. <u>Nevýhodou</u> je menší citlivost na změnu variability v podskupině, pokud se nemění minimální a maximální hodnota.
		Regulační diagram mediánu a rozpětí	\tilde{X}, R	Regulační karta používaná pro malé rozsahy podskupin, nejčastěji do pět. Z hlediska složitosti výpočtů se jedná o nejsnadnější regulační diagram pro spojité data. Poloha regulovaného znaku je kontrolována prostřednictvím <u>mediánu</u> . <u>Variabilita</u> je sledována <u>variačním rozpětím</u> . <u>Výhodou</u> je aplikace diagramu při absenci počítačové podpory a proto jednoduché statistické výpočty polohy (mediánu) a polohy (rozpětí). <u>Nevýhodou</u> je nižší citlivost obou diagramů na změny sledované veličiny.
		Regulační diagram průměru a směrodatné odchylky	\bar{X}, s	Regulační karta vhodná pro velké výrobní dávky. Tento typ karty je zejména pro hromadnou výrobu. Doporučený rozsah podskupin je minimálně 5 jednotek v podskupině. Poloha regulovaného znaku je zastoupena <u>aritmetickým průměrem</u> . <u>Variabilita</u> je kontrolována <u>směrodatní odchylkou</u> . <u>Výhodou</u> je nejpresnější způsob regulace v kombinaci s nejlepší citlivostí obou diagramů. <u>Nevýhoda</u> této regulační karty je nevyhnutnost počítačové podpory pro regulaci a potřeba většího počtu jednotek v podskupinách.
		Regulační diagram individuálních hodnot a klouzavých rozpětí	X, MR	Regulační karta používaná pro malé výrobní dávky. Tento typ regulační karty je vhodný například při regulaci znaku/veličiny, která se kontroluje nebo testuje destruktivně. Poloha regulovaného znaku je sledována individuálními hodnotami. <u>Variabilita</u> procesu je kontrolována prostřednictvím klouzavých rozpětí. <u>Výhodou</u> je nasazení, které si nevyhnutně nevyžaduje počítačovou podporu, protože pro regulaci individuálních hodnot se žádný výpočet neprovádí a pro klouzavé rozpětí je počítá jenom rozdíl dvou posledních naměřených hodnot. <u>Nevýhodou</u> je vysoká citlivost obou diagramů na každou naměřenou hodnotu.
	Regulační diagramy pro abstraktivní veličiny	Regulační diagram pro počet neshodných	np	Tento typ diagramu si vyžaduje konstattní rozsah podskupiny a rozsah výběru má být taký, aby počet zjištěných neshodných jednotek byl nejméně pět.
		Regulační diagram pro podíl neshodných jednotek	p	Tento typ diagramu si vyžaduje rozsah výběru má být taký, aby počet zjištěných neshodných jednotek byl nejméně pět.
		Regulační diagram pro počet neshod	c	Tento diagram požaduje rozsah podskupiny konstattní a dostatečně veliký, aby počet podskupin bez chyb byl co nejmenší.
		Regulační diagram pro počet neshod na jednotku	u	Tento diagram požaduje rozsah podskupiny dostatečně veliký, aby počet podskupin bez chyb byl co nejmenší.

1.8.2 Postup pro volbu regulačního diagramu

Na základě níže uvedeného diagramu v obrázku 7 dochází k rozhodnutí o volbě regulačního diagramu, který je vhodný pro regulaci konkrétního znaku.



Obrázek 7 – Postup pro volbu regulačního diagramu [1]

1.9 Zavedení statistické regulace

Při zavádění statistické regulace je prvním krokem analýza variability procesu a její příčiny. Zda jsou vyvolány pouze náhodnými příčinami nebo vlivem působení vymezitelných příčin. K odhalení vlivu vymezitelných příčin se využívá regulační diagram.

Důležitým krokem je zjištění a odstranění vymezitelných příčin za předpokladu, že je to realizovatelné, aby se proces dostal do stavu, kde na jeho variabilitu mají vliv pouze náhodné příčiny. Takový proces se dá označit jako statisticky zvládnutý neboli stabilní proces a jeho hlavní výhoda spočívá v předvídatelnosti sledovaného znaku na jeho výstupech z procesů. Ukázky jednotlivých výrobních procesů jsou na obrázku 4.

„Statisticky stabilní proces není 100 % zárukou, že se nebudou vyrábět neshodné produkty.“

Důležitou podmínkou je posouzení způsobilosti procesu a výrobních zařízení tak, aby výstup na pracovišti vyhovoval výkresem definovaným tolerančním mezím. Jedná se o posouzení na základě indexů způsobilosti procesu a předběžné způsobilosti procesů C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} , které nejsou obsahem této práce. Pouze základní vysvětlení pojmů je uvedeno v tabulce 1.

U procesu, který je statisticky zvládnutý a způsobilý se pak aplikuje vlastní statistická regulace. Z procesu se v kontrolních intervalech získávají údaje o sledovaném znaku, které se pak vyhodnocují v regulačním diagramu. V případě zjištění signálů o působení vymezitelných příčin se tyto příčiny identifikují a odstraňují tak, aby se proces udržel ve statisticky zvládnutém stavu.

1.10 Druhy statistické regulace

Statistická regulace se dá rozdělit do dvou základních typů, a to podle sledovaného znaku:

- statistická regulace měřením,
- statistická regulace srovnáváním.

1.10.1 Statistická regulace měřením

Lze ji použít pouze v případech, kdy sledovaný znak je měřitelnou veličinou. V tomto případě se pracuje s dvojicí regulačních diagramů. V jednom se v časové závislosti vynáší výběrová charakteristika reprezentující míru polohy hodnot a ve druhém výběrová

charakteristika vyjadřující variabilitu hodnot. Vychází se z předpokladu, že data mají normální (Gaussovo) rozdělení, i když některé hodnoty tento předpoklad nesplňují. Doporučují se periodické kontroly tohoto předpokladu.

1.10.2 Statistická regulace srovnáváním

Je použitelná univerzálně, neboť k její aplikaci stačí identifikovat neshodné produkty nebo u nich stanovit počet neshod. Nelze ji však použít v případě, kdy žádné neshodné produkty či neshody nevznikají. Při statistické regulaci srovnáváním se pracuje s jedním regulačním diagramem. Pokud je možné zvolit obě regulace, volíme raději vždy regulaci měřením, která má lepší vypovídající schopnost. Další nespornou výhodou je, že se u ní daleko rychleji stanoví okamžik, kdy se proces stane nestabilní vlivem působení vymezitelných příčin a tedy ztráta schopnosti predikovat chování procesu.

Postup zavádění statistické regulace procesu

Rozděluje se do čtyř základních fází, které obsahují další jednotlivé kroky:

- **Fáze přípravy.**
- **Fáze analýzy a zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu.**
- **Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu.**
- **Vlastní statistická regulace.**

1.10.3 Fáze přípravy

V rámci této etapy je nutné vytvořit vyhovující podmínky pro zavádění statistické regulace a definovat základní parametry.

Volba regulovaného znaku

Volíme vhodnou veličinu, kterou hodláme regulovat. Nejčastěji se za regulovanou veličinu volí rozhodující znak produktu, který přímo vypovídá o úspěšnosti probíhajícího procesu. Jako regulovanou veličinu je možné zvolit i některý z hlavních rozhodujících parametrů procesu. Na volbě regulované veličiny je podstatný způsob i měření.

Analýza procesu a volba systému měření

Další podmínkou je stabilita procesu a měření regulované veličiny v reálném čase. Současně musí být provedena podrobná analýza procesu z výstupu, kde budou jasně definovány příčiny, které mohou ovlivňovat jeho průběh a tedy i zvolenou regulovanou veličinu. Je zapotřebí použít takový druh měření, který je dostatečně přesný. „V praxi se používá jednoduché pravidlo. Použité měřidlo by mělo mít minimálně o jeden řád vyšší

přesnost než je měřená veličina, tj. pokud měříme v řádu 0,1 mm, měřidlo musí mít přesnosti v řádech 0,01mm nebo přesnější.“ Automobilky požadují před nasazením zvoleného způsobu měření / systému měření jeho statistickou analýzu s pozitivním výsledkem.

Určení rozsahu podskupin

Z procesu se odeberou díly v předem stanovených kontrolních intervalech, které jsou určeny časem, počtem kusů nebo zdvihů u nástrojů pro každé z jednotlivých dutin/otisků (hnízd) nástrojů s přesně definovaným počtem výrobků (znaků) dle příslušné zákaznické normy pro danou technologii. Obvykle se volí $n = 5$ kusů [14] (znaků) pro každou z podskupin, pro každou z aktivit, ale jsou závislé na druhu výrobního zařízení a technologii. (jeden výběr = jedna podskupina).

Měly by být vytvářeny tzv. logické podskupiny. To znamená, že vlastnosti výrobků zahrnutých do jednotlivých podskupin by měly být ovlivňovány pouze náhodnými příčinami variability. Toho se dosahuje tím, že se odebere předem určený počet kusů vyrobených za sebou. Aby toto počínání mělo smysl, musí být při odebírání vzorků zaručeno, že tyto kusy byly vystaveny náhodnému kolísání za předem definovaných parametrů.

Volba kontrolního intervalu

Volí se časový interval odběru prvků podskupiny dle počtu vyrobených kusů nebo interval časový, tedy frekvence odběru. Volba intervalu by neměla negativně snižovat produktivitu procesu.

Volba typu regulačního diagramu

V případě statistické regulace měřením se používá dvojice diagramů. V jednom se vyhodnocuje průběh zvolené míry polohy sledovaného znaku a ve druhém průběh zvolené míry variability. Nejběžnější je užití regulačních diagramů, kde poloha regulované veličiny se zobrazuje na základě výběrového aritmetického průměru nebo výběrového mediánu a jako míra variability je použito výběrové variační rozpětí nebo výběrová směrodatná odchylka. Při volbě se postupuje dle obrázku 6.

1.10.4 Fáze analýzy a zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu

V rámci této etapy dochází ke srovnání, zda je prověřovaný proces statisticky zvládnutý, tedy zda variabilita sledovaného znaku (regulované veličiny) je pouze následkem vlivu náhodných příčin. U této analýzy se používá regulační diagram.

Shromáždění údajů

Posuzuje se, zda údaje uvedené v RD byly sesbírány v časovém intervalu, jehož délka zohledňuje všechny prvky variability, které ovlivňují proces. Podmínkou je získání údajů o minimálně 125 naměřených hodnotách rozdělených do minimálně 25 podskupin. Je potřeba vypočítat hodnoty aritmetických průměrů a variační rozpětí hodnot v jednotlivých podskupinách.

1.10.5 Výpočet výběrových charakteristik a hodnot v jednotlivých podskupinách

V závislosti na zvoleném typu RD se vypočtou příslušné výběrové charakteristiky naměřených hodnot v podskupinách, které budou vynášeny do RD. Níže uvádím základní vzorce a postup pro výpočet diagramu \bar{x} R.

U RD \bar{x} R se hodnoty počítají podle vztahů, v nichž je směrodatná odchylka dané výběrové charakteristiky odhadnuta na základě hodnoty průměrného výběrového variačního rozpětí v podskupinách.[16]

Aritmetický průměr podskupiny:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (5)$$

x_1, x_2 = hodnoty v podskupině

n = počet vzorků v podskupině

Celkový (totální) průměr:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_n}{k} \quad (6)$$

$\bar{\bar{X}}$ 1,2 průměrná hodnota průměru z jednotlivých podskupin

k = počet podskupin použitých pro výpočet celkového průměru a průměru rozpětí

Výběrové a variační rozpětí hodnot v podskupinách

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (7)$$

x_{\max} = maximální hodnota v podskupině

x_{\min} = minimální hodnota v podskupině

1.10.6 Výpočet centrálních přímek a regulačních mezí

Hodnoty vypočtených výběrových charakteristik v podskupinách zároveň slouží k výpočtu regulačních mezí - dolní regulační mez v diagramu průměru $LCL_{\bar{X}}$ a horní regulační mez v diagramu průměru $UCL_{\bar{X}}$. Regulační meze jsou v případě Shewhartových regulačních diagramů umístěny ve vzdálenosti tří směrodatných odchylek dané výběrové charakteristiky od centrální přímk. Současně dochází k výpočtu horní regulační meze v diagramu rozpětí LCL_R a horní regulační meze v diagramu rozpětí UCL_R .

V případech, kdy základní hodnoty grafu nejsou vypočteny na základě dřívějších vyhodnocení, se výpočty provedou podle níže uvedených vzorců, tabulka jednotlivých konstant je uvedena v příloze E. [16]

Centrální přímka diagramu průměru:

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (8)$$

Horní regulační mez diagramu průměru:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (9)$$

A_2 Součinitel pro regulační meze

Dolní regulační mez diagramu průměru:

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (10)$$

Centrální přímka diagramu rozpětí:

$$CL_R = \bar{R} \quad (11)$$

Horní regulační mez diagramu rozpětí:

$$UCL_R = D_3 \bar{R} \quad (12)$$

D_3 – Součinitel pro regulační meze je závislý na rozsahu podskupiny

Dolní regulační mez diagramu rozpětí:

$$LCL_R = D_4 \bar{R} \quad (13)$$

D_4 - Součinitel pro regulační meze koeficient závislý na rozsahu podskupiny

Ukázka regulačního diagramu $\bar{X}R$ včetně výpočtů dle vzorců 5 až 13 jsou uvedeny v příloze B. Vzhledem k velkému rozsahu rozdílných variant RD uvádím vypočtové vzorce pro ostatní varianty v příloze A.

1.10.7 Popis regulačního diagramu $\bar{X}R$

Regulační diagram $\bar{X}R$ tvoří čtyři základní části. Všechny níže popisované části RD v kapitole se budou vztahovat k příloze B, jednotlivé části RD jsou označeny modrou značkou č. 1 (dále jen jako část).

První část RD uvádí základní údaje - popis, toleranci, rozsah podskupiny, kontrolní interval a jasně identifikuje regulovaný znak.

Druhou část RD tvoří graf průměru polohy procesu, kde jsou vyobrazeny jednotlivé body, které tvoří křivku, která zobrazuje vypočtené hodnoty z průměrů \bar{X} z jednotlivých podskupin 1-30. V grafu jsou vyobrazeny tři čáry celkového průměru ze všech podskupin, středová modrá plná čára v grafu zobrazuje celkový průměr, spodní regulační mez je fialová přerušovaná čára, horní regulační mez je oranžová přerušovaná čára. Čáry tvoří hodnoty z vypočtených hodnot.

Třetí část RD tvoří graf rozpětí variability procesu, ve kterém jsou vyobrazeny hodnoty rozpětí R. Podobně jako v druhé části, jsou zde vyobrazeny hodnoty na grafu. Spodní přerušovaná čára prezentuje dolní regulační mez, horní přerušovaná čára zobrazuje horní regulační mez, středová plná čára ukazuje přímku průměrné hodnoty rozpětí.

Čtvrtou část RD tvoří tabulka sloužící pro zápis a výpočet z naměřených hodnot. Hodnoty $X_1 - X_5$ tvoří jednu podskupinu, která je na obrázku označena modře.

Pátá část RD zobrazuje vypočtené hodnoty regulačních mezí a centrálních přímek rozpětí a průměrů pro grafy v druhé a třetí části. Je v praxi skrytá, barevně označené značky 1-9 odpovídají vzorcům ze stran 20 - 21. Značky 10-11 vycházejí z tabulky konstant a vzorů pro výpočet RD [16] a jsou uvedeny v příloze E.

1.10.8 Sestrojení regulačního diagramu a jeho analýza

Hodnoty vypočtených výběrových charakteristik v jednotlivých podskupinách, spodní a horní regulační meze a centrální přímky se vynesou do příslušných diagramů, kde se v jednom z grafů pozorují změny středních hodnot (výběrových průměrů). Jak ukazuje obrázek v příloze E druhé části, druhý graf zobrazuje změnu stability hodnot v jednotlivých podskupinách. Polohu vůči střední přímce (výběrové rozpětí) zobrazuje obrázek v příloze E třetí část.

Analýza regulačních diagramů spočívá v posouzení, zda průběhy výběrových charakteristik regulované veličiny nesignalizují působení vymezitelných příčin variability.

Za signály působení vymezitelných příčin se považuje výskyt bodů vně regulačních mezí nebo tzv. nenáhodná seskupení bodů (např. trend, posun apod.).

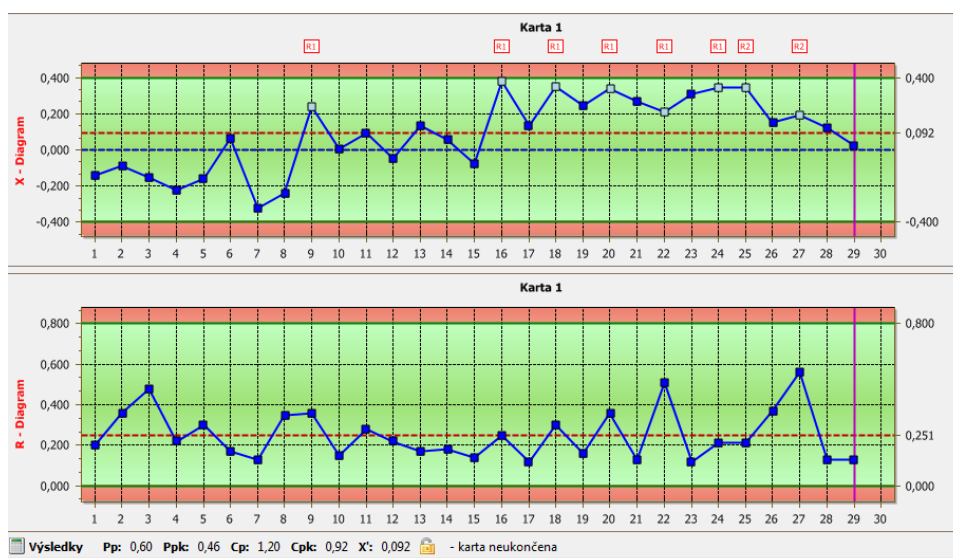
Existuje osm typických kritérií pro zjištění zvláštních příčin, které jsou uvedeny v tabulce 4. Grafické znázornění osmi bodů uvedených níže je obsahem přílohy C.

Tabulka 4 – Kritéria pro zjištění zvláštní příčin procesů [16]

Pořadí	Kritéria pro zjištění zvláštních příčin
1	1 bod je vzdálen více jak 3 směrodatné odchylky od centrální přímky
2	7 bodů v řadě leží na stejné straně od centrální přímky
3	6 bodů v řadě vytváří klesající nebo rostoucí posloupnosti
4	14 bodů v řadě kolísá střídavě nahoru a dolů
5	2 ze 3 bodů jsou ve vzdálenosti větší než 2 směrodatné odchylky od centrální přímky (na jedné straně)
6	4 z 5 bodů leží ve vzdálenosti větší než 1 směrodatná odchylka od centrální přímky (na jedné straně)
7	15 bodů v řadě leží uvnitř prostřední třetiny pásma mezi regulačními mezemi
8	8 bodů v řadě leží ve dvou vnějších třetinách v pásmu mezi regulačními mezemi

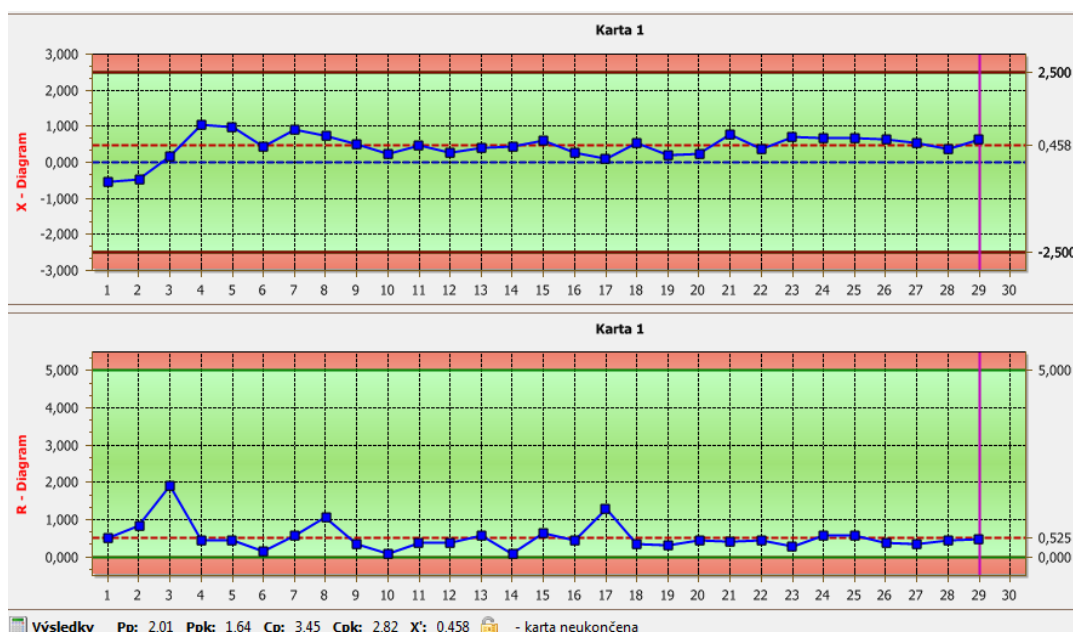
V případě indikace výskytu signálů vymezitelných příčin se proces považuje za statisticky nevládnutý. Obrázek 8 ukazuje takový proces. Pro zajištění statistického zvládnutí je potřeba aplikovat tzv. „čisticí proces“, který probíhá v následujících krocích:

- **Identifikace vymezitelných příčin.**
- **Provedení nápravných opatření, jež trvale zabrání opakování těchto příčin.**
- **Vyloučení příslušných podskupin z dalšího hodnocení.**
- **Přepoččet regulačních mezí a centrálních přímek.**
- **Analýza regulačního diagramu vůči novým (revidovaným) regulačním mezím.**



Obrázek 8 – Regulační diagram – \bar{X} R statisticky nezvládnutý (nestabilní) proces

Diagram \bar{X} se využívá pro výpočet regulačních mezí. Hodnota průměrného rozpětí je vyhodnocená v diagramu R. Nejprve se provádí analýza u diagramu, který charakterizuje změnu variability. V případě, že se zjistí signál působení vymezitelných příčin, následuje očistný proces. Pokud žádné body v diagramu, který charakterizuje změnu variability, nesignalizuje působení vymezitelných příčin, pokračuje se analýzou diagramu charakterizující střední polohy znaku jakosti. V případě zjištění bodu mimo regulační meze uplatníme opět očistný proces. Toto provádíme tak dlouho, než všechny body leží uvnitř regulačních mezí. Obrázek 9 zobrazuje statisticky stabilní proces.



Obrázek 9 – Regulační diagram – \bar{X} R statisticky zvládnutý (stabilní) proces

Rozšíření platnosti mezí na delší období

Očistný proces nemá za účel vylepšit výrobní proces, ale cílem je stanovit regulační meze charakterizující přirozené chování procesu, kdy na něj působí pouze náhodné příčiny variability.

1.10.9 Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu

Hodnocení způsobilosti procesů s výše zmiňovanými indexy C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} a základní definice indexu je provedena v tabulce 1. Je nutné zdůraznit, že při zjištění nezpůsobilého procesu je nutné striktně realizovat nápravná opatření vedoucí k dosažení způsobilosti procesu. Po zavedení nápravných opatření do procesu je nutné opakovat fázi analýzy a zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu. Vzhledem k velkému rozsahu této problematiky není teorie vztahující k této části obsahem mé práce.

1.10.10 Vlastní statistická regulace

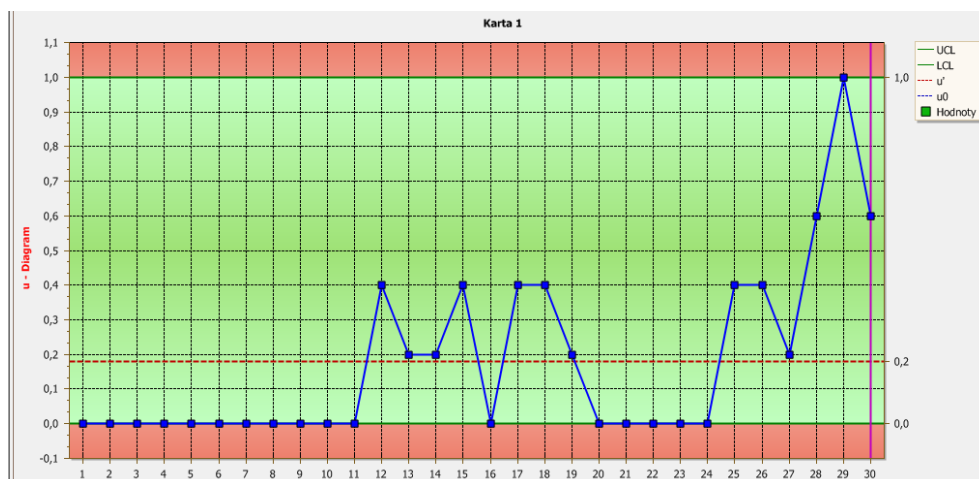
Základní podmínkou pro zahájení statistické regulace je statisticky **zvládnutý a způsobilý proces**. Vlastní regulace spočívá ve vedení regulačního diagramu s předem zakreslenými regulačními mezemi. Ve zvolených intervalech se z procesu odebírají podskupiny po sobě vyrobených výrobků a zjišťují se hodnoty sledovaného znaku jakosti. Z těchto hodnot se vypočítají příslušné výběrové charakteristiky, které se vynášejí do regulačního diagramu. Po zakreslení údajů o každé podskupině se provádí analýza regulačního diagramu na výskyt signálů vymezitelných příčin. Pokud se takový signál objeví, je nutné odhalit kořenovou příčinu a tu následně z procesu odstranit tak, aby se proces dostal opětovně do stavu, kdy bude považován za statisticky zvládnutý.

1.10.11 Statistická regulace srovnáváním

V případě statistické regulace srovnáváním lze využít čtyři typy regulačních diagramů (p, np, c, u). Volba typu diagramu závisí na tom, zda se na výstupu z procesu sleduje výskyt neshodných výrobků nebo výskyt neshod a na tom, zda rozsah podskupiny je či není konstantní. Základní postup pro volbu ukazuje obrázek 7 – Postup pro volbu regulačního diagramu.

P–diagram a np–diagram představují regulační diagramy pro podíl a počet neshodných jednotek v podskupině a jsou určeny pro případy, kdy úspěšnost procesu je posuzována na základě výskytu neshodných produktů. Pro případy, kdy o úspěšnosti procesu lépe vypovídají informace o výskytu neshod, se používá regulační diagram pro počet neshod v podskupině (c-diagram) nebo regulační diagram pro počet neshod na jednotku

v podskupině (u-diagram). Omezením pro použití diagramu np a c je fakt, že se vyžaduje konstantní rozsah podskupiny (n).



Obrázek 10 – Regulační diagram – u pro počet neshod na jednotku v podskupině

V případě konstantního rozsahu podskupiny lze v obou situacích použít oba typy diagramů, np a c diagramy, pro případy proměnlivého rozsahu podskupiny jsou určeny pouze p-diagram a u-diagram.

Při zavádění statistické regulace srovnáváním se v podstatě uplatňují stejné postupy jako u statistické regulace měřením. V přípravné fázi je potřeba přesně specifikovat neshodný produkt nebo neshodu a stanovit způsob jejich zjišťování, analyzovat faktory ovlivňující jejich výskyt, zvolit rozsah podskupiny, kontrolní interval a typ diagramu. Poté následuje analýza a zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu, analýza a zabezpečení způsobilosti procesu a vlastní statistická regulace.

Je nutné se zaměřit na volbu rozsahu podskupiny. Při malém rozsahu podskupiny může nastat stav, kdy nebudou zjištěny žádné neshodné produkty, a proces nebude možné regulovat. Rozsah podskupiny by tedy měl být dostatečně vysoký, aby v průměru byl zjištěn vždy určitý minimální počet neshodných jednotek v podskupině. Hodnota tohoto minimálního průměrného počtu se s rozvojem technologií posouvá k nižším hodnotám a například v oblasti mikroelektronických montážních technologií se v současné době požaduje splnění nerovnosti.

1.11 Metoda porovnání v trojúhelníku párů

V diplomové práci použiji metodu porovnání v trojúhelníku párů, pro zjištění slabých míst. Metoda je založena na vzájemném posouzení významnosti dvou různých kritérií

a určuje počet vzájemně posuzovaných kritérií a poté se následně vypočítá množství vzájemných kombinací dle vzorce 14. [6]

$$N = \frac{m(m-1)}{2} \quad (14)$$

N - počet kombinací

m - počet kritérií

Na základě vypočítaných kombinací se vytvoří trojúhelníková tabulka hodnot vzájemných kombinací. Tuto tabulku obdrží expert, který posuzuje vzájemně mezi sebou jednotlivá kritéria, a to označením důležitějšího kritéria. V případě, že obě kritéria mají stejnou důležitost, expert označí obě kritéria současně tak, jak ukazuje tabulka 5.

Vyhodnocení se provádí v tabulce a to tak, že kritérium obdrží bodové hodnocení odpovídající počtu bodů, kolikrát ho označí expert v tabulce. V případě, že expert označí obě kritéria současně, pak kritérium obdrží 0,5 bodu. Pro pochopení výpočtu uvádím příklad výpočtu dat uvedených v tabulce 5, kde je provedeno vyhodnocení čtyř kritérií třemi experty. Jednotlivá rozhodnutí jsou zvýrazněna. [6]

Pro výpočet počtu kombinací použijí vzorec 14, kde je výsledný počet kombinací 6. Na základě počtu kombinací vytvořím tabulku 5 pro vyhodnocení třemi experty.

$$N = \frac{m(m-1)}{2} = \frac{3(3-1)}{2} = 6 \text{ kombinací}$$

Tabulka 5 – Hodnocení čtyř kritérií třemi experty [6]

Expert 1			Expert 2			Expert 3		
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	3	4	2	3	4	2	3	4
	2	2		2	2		2	2
	3	4		3	4		3	4
		3			3			3
		4			4			4

Tabulka 6 – Bodové hodnocení kritérií [6]

Kritéria					
Expert	1	2	3	4	Celkem
1	0,5	2,5	1,5	1,5	6
2	1	2	2	1	6
3	0,5	1,5	2,5	1,5	6
Celken	2	6	6	4	18
B_j	0,6667	2	2	1,3333	6
B_{jN}	0,1111	0,3333	0,3333	0,2222	1

Pro výpočet koeficientu významnosti B_j použijí vzorec 15 a pro jejich vzájemné porovnání významnosti použijí normovaného koeficientu, který vyjadřuje důležitost jednotlivých hodnot uvedených v tabulce 6. Pro další výpočet pořadí významnosti užijí vzorec 16. [17]

Nenormovaný koeficient významnosti

$$B_j = \frac{\sum_{k=1}^p Y_{kj}}{p} \quad (15)$$

p – počet expertů

m – počet kritérií

Y_{kj} – počet bodů přiřazených k -tým expertem k j -tému kritériu

Normovaný koeficient významnosti

$$B_{jN} = \frac{B_j}{\sum_{j=1}^m B_j} \quad \sum_{j=1}^m B_j = 1,0 \quad (16)$$

m – počet kritérií

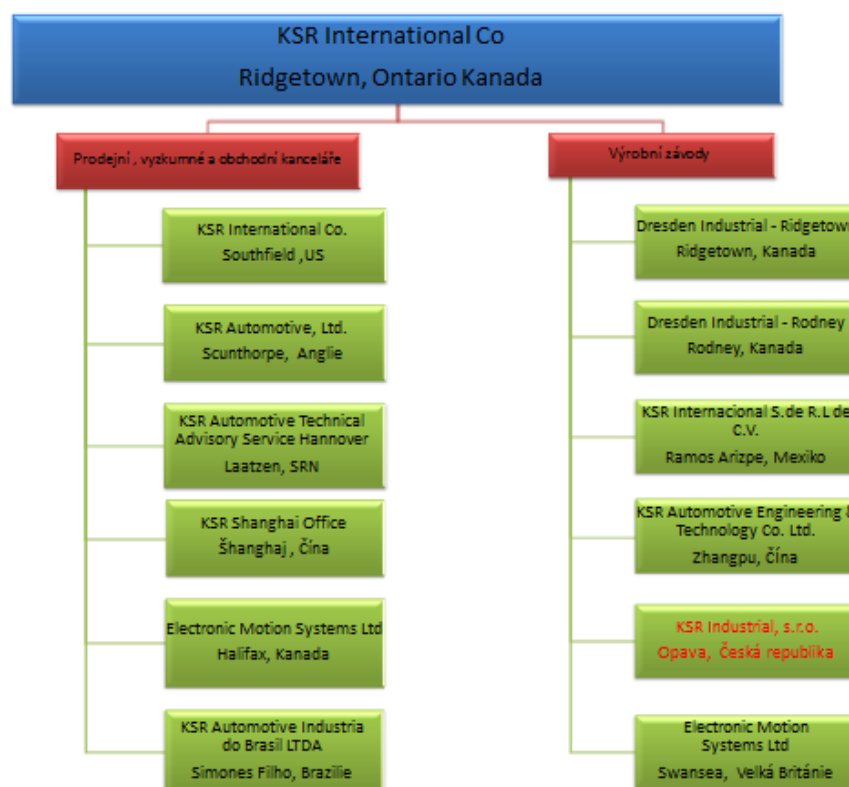
2 Analýza současného stavu

Kapitola popisuje základní strukturu mateřské společnosti KSR INTERNATIONAL CO. Dále je v kapitole představen KSR Industrial s.r.o jako hlavní evropský výrobní závod této mateřské společnosti, včetně popisu základních procesů společnosti. Zbývajících část kapitoly se zabývá tvorbou dokumentace, definicí zvláštních znaků a analýzou provádění statistické regulace ve společnosti.

2.1 KSR INTERNATIONAL CO

KSR INTERNATIONAL CO je kanadská společnost, která byla založena v roce 1957. Její náplní je návrh a vývoj produktů, procesů a technologií a výroby dílů do automobilového průmyslu. Mezi hlavní sortiment patří tradiční pevné i nastavitelné pedálové sestavy, a to brzdové i spojkové, manuální i elektronicky řízené akcelerační pedály, nožní a ručně ovládané parkovací brzdy, elektronické dotykové i bezdotykové automobilové senzory. [7]

Jedná se o mezinárodní společnost sestávající se ze šesti výrobních závodů a stejného počtu poboček zabezpečující prodej, výzkum a vývoj. Základní strukturu společnosti ukazuje obrázek 11. [8]



Obrázek 11 – Základní rozdělení společnosti [7,8]

2.2 KSR Industrial s.r.o

Společnost KSR Industrial s.r.o, dále jen již jako KSR, je výrobní závod sídlící v Opavě v České republice. Firma byla založena v roce 2005 [9]. Hlavním posláním společnosti je výroba pedálových sestav spojek, brzd a akceleračních pedálů do automobilů.

Zákazníky společnosti tvoří především automobilové koncerny Ford Motor Company, Volkswagen AG a jeho značky Audi, ŠKODA AUTO a dále automobilky značek Nissan, Landrover, Jaguar, Daimler a Hyundai.

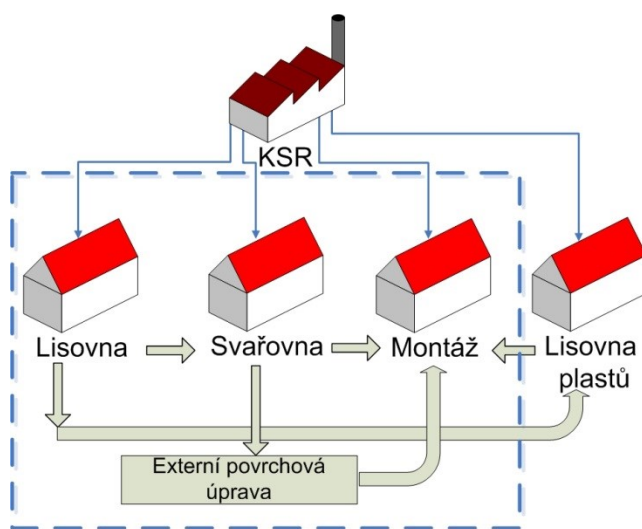
Základní výrobní celky KSR tvoří čtyři výrobní provozy, jsou na obrázku 12. Součástí obrázku jsou také základní procesní toky.

Prvním provozem je lisovna. Zde dochází k výrobě základních komponentů stříháním a ohýbáním ze svitků a ocelových pasů a dále na tomto provozu probíhá spojování sub-sestav z vylisovaných nebo nakupovaných dílů.

Provoz svařovny zabezpečuje spojení ocelových výrobních sub-sestav z dílů vyrobených na lisovně. Vyrobené díly, sub-sestavy pokračují na povrchovou úpravu do externích společností nebo jsou přímo zaslány na konečnou montáž.

Lisovna plastů vyrábí komponenty, jež jsou dále používány na konečné montáži. Popřípadě jsou přímo expedovány ke konečným zákazníkům. Pro výrobu některých komponentů jsou zapotřebí ocelové výlisky z provozu lisovny.

Montáž provádí kompletace finálních produktů z nakupovaných dílů a dílů vyrobených na výše uvedených provozech.



Obrázek 12 – Základní struktura a výrobní toky KSR

2.2.1 Rozdělení výrobních procesů projektu

Diplomová práce se bude dále zaměřovat na níže uvedené procesní kroky, které jsou na obrázku 12 označeny modrou přerušovanou čarou. S ohledem na široké spektrum požadavků se práce věnuje specifickým požadavkům koncernu Volkswagen.

Základní procesní kroky jsou:

- Stříhání a ohýbání ocelových dílů na provozu lisovny, které vyrobí základní části sestavy z nakupovaných polotovarů a dílů.
- Svařování dílů na provozu svařovny, které spojí díly v sub-sestavy.
- Povrchová úprava, kataforézní lakování jsou dokončeny u externího dodavatele.
- Konečná výroba celé sestavy se provede na provozu montáže.

2.2.2 Definice zvláštních znaků

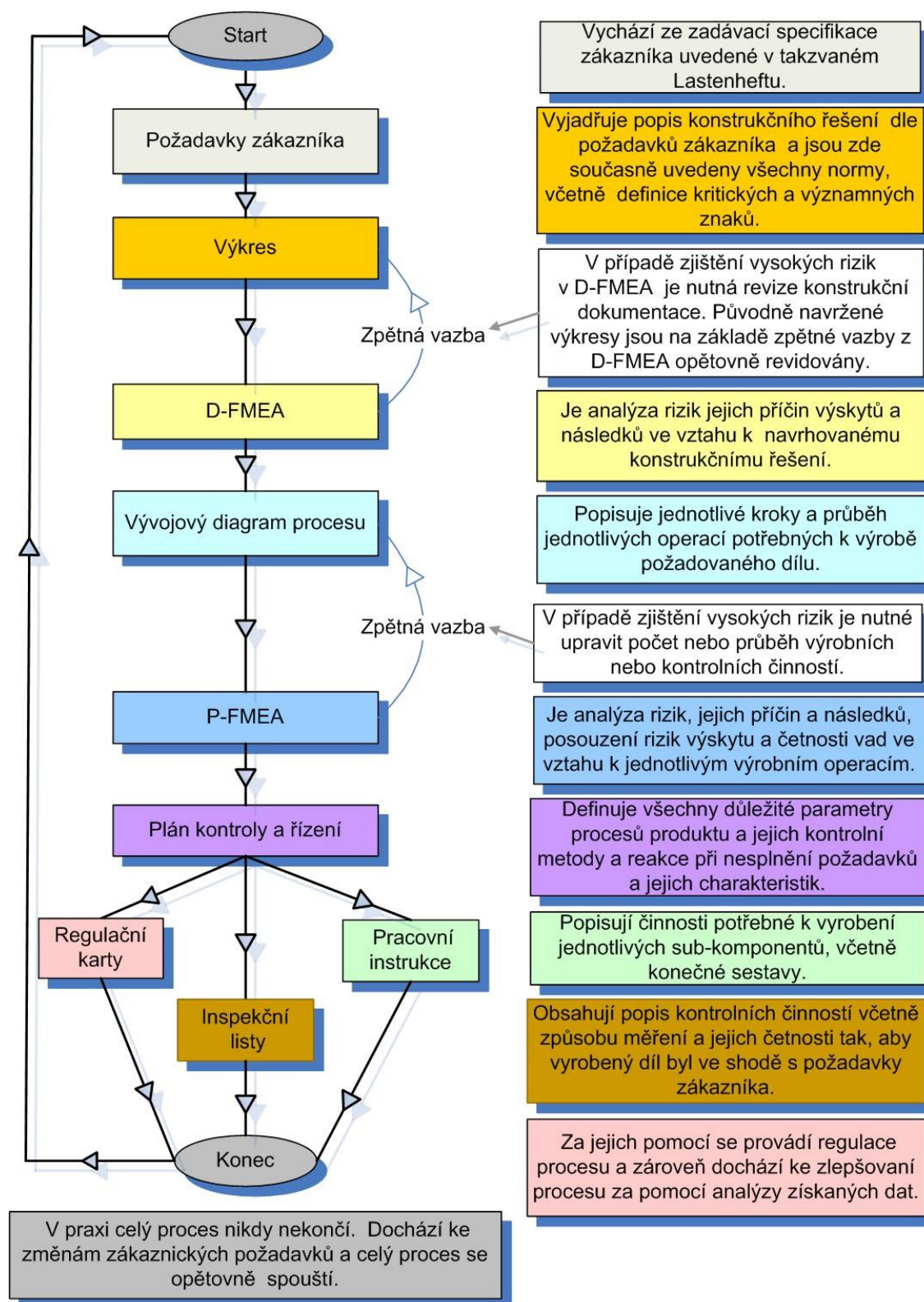
Základní definice zvláštních znaků v rámci firmy KSR jsou dvě a ty jsou uvedeny v tabulce 7. Tabulka byla vytvořena na základě informací ze zdroje [11] a překladu autora této práce.

Tabulka 7 – Zvláštní znaky společnosti [11, autor]

Zvláštní znaky společnosti KSR		
Označení zvláštního znaku	Požadavek (v Anglickém jazyce)	Překlad požadavku (do českého jazyka)
APEC	A product or process characteristics that requires measurement using, either attribute (go/no go) or variable gauging methods. The frequency of the measurement is to be documented on the control plan.	Znaky produktu a procesu, které vyžadují použití měření, buď atributivně (dobrý/špatný) nebo metodu variabilního měření. Perioda měření má být dokumentována v pláňe kontroly a řízení.
KPEC	A product or process characteristic that either affects a customer defined special characteristic or has been identified by the APQP team as high risk from the DFMEA. A KPEC shall have either 100% inline detection (with reject master validation), or poke yoke. Where this is not feasible variable gauging shall be used and statistical tools (SPC) shall be used for control with an ongoing (P_{pk}) greater than 1.67. SPC is to be maintained throughout the life of the program.	Znak produktu nebo procesu, který buď může ovlivnit zvláštní znak zákazníka nebo by identifikován APQP jako vysoce rizikový v FMEA produktu. KPEC musí být buď 100%-ně kontrolován během výroby (prostřednictvím ověření vzorového dílu/etalonu) nebo musí být použito Poka-Yoke. Kde není variabilní měření realizovatelné, musí být nasazena statistická regulace procesu (SPC) a vždy aktuální kvalitativní výkon procesu (P_{pk}), které musí být větší než 1,67. SPC musí být udržováno během celého životního cyklu projektu.

2.2.3 Tvorba výrobní dokumentace

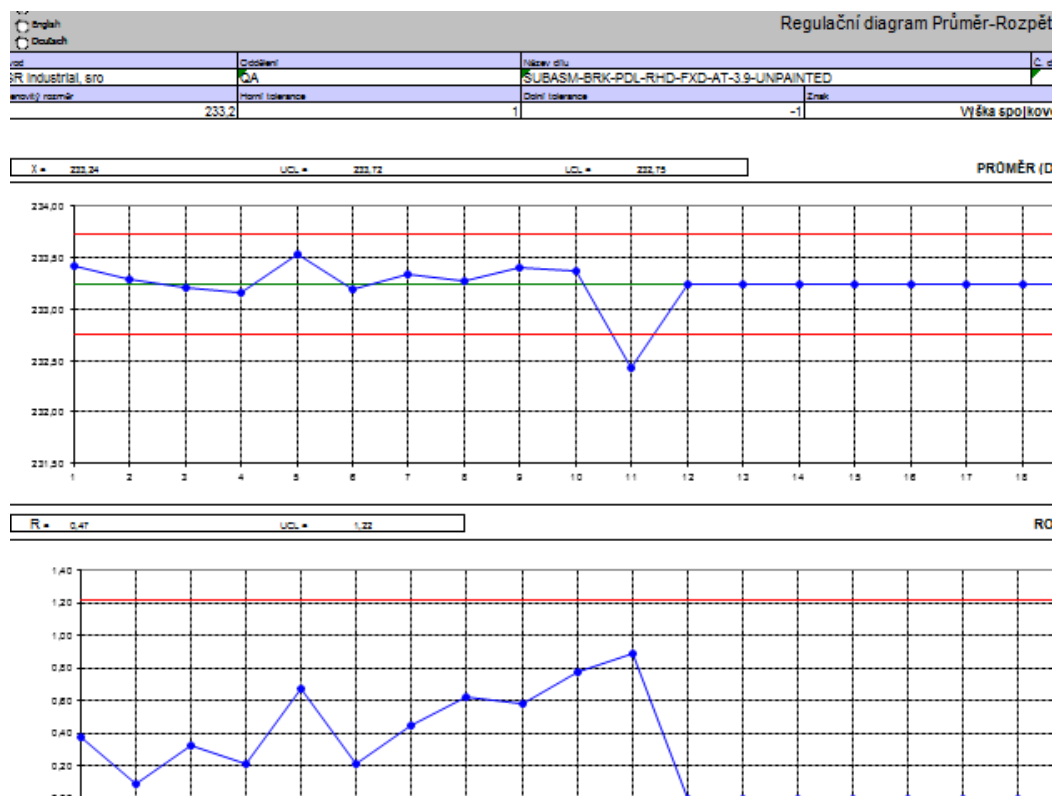
Jednotlivé kroky popisující sled tvorby základní výrobní dokumentace včetně zpětných vazeb jsou obsahem obrázku 13.



Obrázek 13 – Základní struktura tvorby výrobní dokumentace KSR

2.3 Statistická regulace

Regulace se provádí v elektronické podobě za pomoci $\bar{X}R$ regulačního diagramu, který je vytvořen pomocí programu Excel. Jedna karta rovná se jeden list po třiceti podskupinách po pěti. Obrázek 14 ukazuje část takovéto regulační karty, ze které jsou hodnoty následně přepírávány pro vyhodnocování dlouhodobé způsobilosti. Na obrázku 15 uvádím ukázkou dat připravených pro vyhodnocení. Z důvodu utajení firemních údajů je u čísla dílu uvedeno xxx.



Obrázek 14 – Přepis dat do podoby vhodné pro vyhodnocení

2.3.1 Přepis dat pro vyhodnocování

Regulace se provádí za pomoci regulačních karet. Zapsané hodnoty z karet jsou následně přepírávány do sloupců vhodných pro vyhodnocování dlouhodobé způsobilosti. Data připravená pro vyhodnocení ukazuje obrázek 15.

Výrobní číslo	Boční pozice	Výška pedálu
G1322-112450-XXXXXXXXA-000-11	58,88	-0,04
G1322-111920-XXXXXXXXA-000-07	59,83	-0,06
G1322-111900-XXXXXXXXA-000-17	59,54	0,74
G1322-111840-XXXXXXXXA-000-04	59,76	0,2
G1322-111822-XXXXXXXXA-000-02	59,05	0,22
G1322-111803-XXXXXXXXA-000-15	59,52	0,09
G1322-111724-XXXXXXXXA-000-22	58,2	-0,03
G1322-111705-XXXXXXXXA-000-14	59,15	
G1322-111615-XXXXXXXXA-000-05	58,32	
G1322-111555-XXXXXXXXA-000-19		
G1322-111443-XXXXXXXXA-000-01		

Obrázek 15 – Přepis dat do podoby vhodné pro vyhodnocení

2.4 Analýza statistické regulace.

2.4.1 Ochrana dat v regulačních kartách

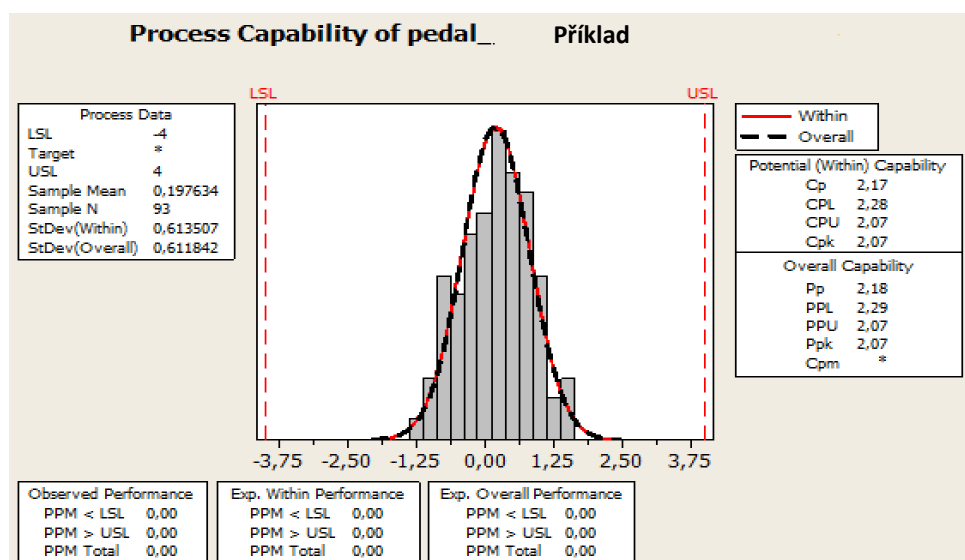
Data v regulačních kartách nejsou nijak chráněna proti přepisu. V kartě je možné volně upravit datum zápisu, kdo zápis provedl, včetně úpravy zapsaných hodnot regulovaného znaku.

2.4.2 Nedokonalá vazba na informace z regulovaných procesů

Informace z uvolňovaných procesů se nedají vyhodnocovat z hlediska toho, jak se dodržují předepsané kontrolní intervaly pro RD. Je složité vyhodnocovat kvalitu měření jednotlivých pracovníků. Pravdivost versus údaje zapsané v regulačních kartách týkající se intervalu a času měření je odvislá od poctivosti daného pracovníka. Kontrola v současném systému je časově i finančně náročná.

2.5 Vyhodnocení dlouhodobé způsobilosti

Data z tabulky na obrázku 16 jsou následně nakopírovány do programu MINITAB®. Zde dochází k vyhodnocení dlouhodobé způsobilosti za pomoci výpočtu indexů C_{pk} , C_p z regulačních karet. Ukázka vyhodnocení je uvedena na obrázku 16. Vyhodnocování je prováděno v měsíčním intervalu. Výsledná hodnota indexu je porovnávána se zákaznickými požadavky jednotlivých zákazníků, v případě koncernu VW je požadavek hodnoty C_{pk} 1,33 a C_p 1,33. Pokud je výsledná hodnota vyšší, než je požadovaná, pak je požadavek splněn. V opačném případě je nutné provést analýzu a opatření v rámci procesu, které povede ke zlepšení způsobilosti procesu.



Obrázek 16 – Ukázka vyhodnocení SPC v Minitabu

2.6 Analýza vyhodnocení dlouhodobé způsobilosti

2.6.1 Časová náročnost

Nevýhodou je zdloouvá konverze dat získaných z regulačních diagramů. Data se musí opakovaně konvertovat do sloupců, které jsou vhodné pro vyhodnocení a následně nakopírovat do programu Minitab®, kde se provádí vyhodnocení indexů C_p a C_{pk} . Výsledná hodnota indexu je porovnávána s požadavky zákazníka.

2.6.2 Omezený přístup k dlouhodobé způsobilosti

Hodnoty dlouhodobé způsobilosti procesů C_{pk} testování dat histogramu se určují off-line a ne v režimu online. Vyhodnocování se provádí v měsíčním intervalu v programu Minitab® popřípadě na vyžádání.

2.6.3 Náklady současného stavu

V tabulce 8 byl proveden výpočet ročních nákladů na zápis RD, převod dat do sloupců, nakopírování dat do Minitabu, vyhodnocení dat, pojmenování a uložení dat RD. Výpočet vychází z průměrného týdenního počtu zapsaného v roce 2015.

Tabulka 8 – Roční náklady na regulační karty

Původní verze RD							
P.č.	Činnost	Týdně *	Čas na jednu RD	Hodinová sazba 300 Kč/hod	Náklady na jeden den	Měsíční náklady	Roční náklady
	na RD	Počet Rd /ks	Sekund	Náklady Kč / vteřinu	Kč (1 den)	Kč (30 dnů)	Kč (365 dnů)
1	Vyhledání RD	62	9	0,08	47 Kč	1 395 Kč	16 973 Kč
2	Otevření	62	2	0,08	10 Kč	310 Kč	3 772 Kč
3	Zápis dat do RD	62	150	0,08	775 Kč	23 250 Kč	282 875 Kč
4	Převod dat do sloupců	62	20	0,08	103 Kč	3 100 Kč	37 717 Kč
5	Nakopírování dat do Minitabu	62	15	0,08	78 Kč	2 325 Kč	28 288 Kč
6	Vyhodnocení dat	62	35	0,08	181 Kč	5 425 Kč	66 004 Kč
7	Pojmenování a uložení RD	62	20	0,08	103 Kč	3 100 Kč	37 717 Kč
Celkové náklady		-	240	0,42 Kč	1 240 Kč	37 200 Kč	452 600 Kč

Tabulka 9 obsahuje soupis nalezených slabých míst současně prováděné statistické regulace za pomoci RD.

Tabulka 9 – Souhrn slabých míst současného řešení SPC

Poř.číslo	Popis slabých míst
1	Regulace se provádí pouze pro Variabilní znaky
2	Rozsah výběru je pevně stanoven na 5 kusů
3	Data zapsaná v regulačních kartách nejsou chráněny proti přepisu
4	Reguluje se prostřednictvím pouze jednoho typu \bar{X} R diagramu
5	Opožděná informace o nestabilitě regulovaných procesů
6	Náklady na přepis dat vhodných pro vyhodnocení
7	Omezený přístup k datům dlouhodobé způsobilosti C_{pk}
8	Čas zápisu do RD je odvislý od pracovníka, který provádí zápis
9	Složitě sledování, zda je dodržován kontrolní interval
10	Je obtížné vyhodnotit kvalitu zápisu dat jednotlivých inspektorů

3 Vyhodnocení analýzy

V kapitole je provedena analýza slabých míst SPC včetně provedení vyhodnocení závažnosti jednotlivých zjištěných problémů SPC metodou porovnání v trojúhelníku párů.

3.1 Vyhodnocení analýzy SPC

Z tabulky 6 vychází 10 nalezených slabých míst v druhé kapitole, následně bude použito metody v trojúhelníku párů s cílem najít nejvýznamnější slabá místa.

3.2 Metoda porovnání v trojúhelníku párů

Za pomoci této metody jsem provedl vzájemné posouzení závažnosti 10 nalezených jednotlivých slabých míst mezi třemi experty a provedl jsem vyhodnocení důležitosti. Na základě nalezených problémů v tabulce 6 vyplynulo 10 neshod, u kterých je nutné provést posouzení jejich závažnosti. Pro vyhodnocení závažnosti jednotlivých problémů jsem použil metodu porovnání v trojúhelníku párů. [6]

$$N = \frac{m(m-1)}{2} = \frac{10(10-1)}{2} = 45 \text{ kombinací}$$

Z výsledného počtu kombinací vznikly tabulky, jednotlivá hodnocení expertů jsou zvýrazněna. Výsledky vyhodnocení uvádím v tabulkách 10, 11, 12.

Výpočet byl proveden na základě vzorce 2 a 3 pro nenormovaný a normovaný koeficient významnosti, tabulka 7.

Expert 1

Tabulka 10 – Bodové vyhodnocení expert 1

Expert 1									
									součet
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	2	2	2	2	2	2	2	2	5
	3	4	5	6	7	8	9	10	
		3	3	3	3	3	3	3	6
		4	5	6	7	8	9	10	
			4	4	4	4	4	4	4
			5	6	7	8	9	10	
				5	5	5	5	5	5
				6	7	8	9	10	
					6	6	6	6	2,5
					7	8	9	10	
						7	7	7	8,5
						8	9	10	
							8	8	2
							9	10	
								9	7,5
								10	3

Expert 2

Tabulka 11 – Bodové vyhodnocení expert 2

Expert 2									
									součet
1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	2	2	2	2	2	2	2	2	4
	3	4	5	6	7	8	9	10	
		3	3	3	3	3	3	3	7
		4	5	6	7	8	9	10	
			4	4	4	4	4	4	6
			5	6	7	8	9	10	
				5	5	5	5	5	4
				6	7	8	9	10	
					6	6	6	6	2,5
					7	8	9	10	
						7	7	7	7,5
						8	9	10	
							8	8	3,5
							9	10	
								9	2,5
								10	2

Expert 3

Tabulka 12 – Bodové vyhodnocení expert 3

Expert 3									
									součet
1	1	1	1	1	1	1	1	1	7
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	2	2	2	2	2	2	2	2	4
	3	4	5	6	7	8	9	10	
		3	3	3	3	3	3	3	8,5
		4	5	6	7	8	9	10	
			4	4	4	4	4	4	5,5
			5	6	7	8	9	10	
				5	5	5	5	5	3,5
				6	7	8	9	10	
					6	6	6	6	0,5
					7	8	9	10	
						7	7	7	8
						8	9	10	
							8	8	2,5
							9	10	
								9	3,5
								10	2

Tabulka 13 – Bodového vyhodnocení [6]

	Kritéria										
Expert	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Součet
1	1,5	5	6	4	5	2,5	8,5	2	7,5	3	45
2	6	4	7	6	4	2,5	7,5	3,5	2,5	2	45
3	7	4	8,5	5,5	3,5	0,5	8	2,5	3,5	2	45
Celkem	15,5	15	24,5	19,5	17,5	11,5	31	16	22,5	17	
B_j	4,83	4,33	7,17	5,17	4,17	1,83	8,00	2,67	4,50	2,33	45,00
B_{jN}	0,1074	0,0963	0,1593	0,1148	0,0926	0,0407	0,1778	0,0593	0,1	0,0519	1,00

Tabulka 14 – Pořadí důležitosti slabých míst

Číslo kritéria	Popis slabých míst	Pořadí důležitosti
7	Omezený přístup k datům dlouhodobé způsobilosti C_{pk}	8,00
3	Data zapsaná v regulačních kartách nejsou chráněny proti přepisu	7,17
4	Reguluje se prostřednictvím pouze jednoho typu $\bar{X}R$ diagramu	5,17
1	Regulace se provádí pouze pro Variabilní znaky	4,83
9	Složitě sledování, zda je dodržován kontrolní interval	4,50
2	Rozsah výběru je pevně stanoven na 5 kusů	4,33
5	Opožděná informace o nestabilitě regulovaných procesů	4,17
8	Čas zápisu do RD je odvislý od pracovníka, který provádí zápis	2,67
10	Je obtížné vyhodnotit kvalitu zápisu dat jednotlivých inspektorů	2,33
6	Náklady na přepis dat vhodných pro vyhodnocení	1,83

V tabulce 14 bylo na základě provedené analýzy vyhodnoceno pořadí důležitosti jednotlivých kritérií. Jako nejvýznamnější kritérium bylo experty zvoleno kritérium č. 7, které uvádí, že není k dispozici okamžitě hodnota dlouhodobé způsobilosti C_{pk} . Nejméně významné kritérium bylo experty zvoleno kritérium č. 6 hodnotící dodatečné náklady na předpis dat pro vyhodnocení.

4 Vlastní návrhy zlepšení systému

Na základě provedené analýzy zajištěných slabých míst statistické regulace je v úvodu kapitoly proveden popis navrhovaného řešení nového způsobu regulace. V další části je popis zvoleného nastavení programu, včetně vyhodnocení naměřených dat jak pro atributivní, tak i pro variabilní znaky a jejich testování dat. Závěr kapitoly se zaměřuje na popis vytvořených pracovních instrukcí.

4.1 Softwarové řešení statistické regulace

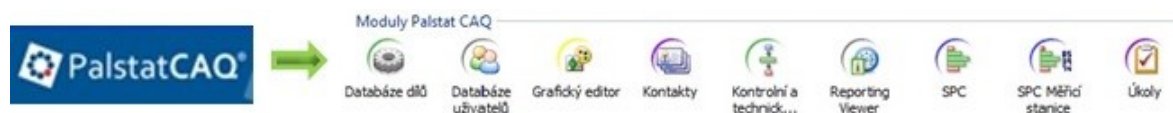
V navrhovaném řešení byl způsob regulace nahrazen softwarovým řešením firmy Palstat CAQ. Součástí softwaru jsou jednotlivé moduly databáze dílů, databáze uživatelů, grafický editor, kontakty, kontrolní a technické postupy, Reporting Viewer, SPC, SPC měřicí stanice a úkoly tak, jak ukazuje obrázek 17. Softwarový systém CAQ obsahuje i další moduly, které jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15 – Moduly Palstat CAQ [17]

Oblasti	Moduly
Plánování	Flowchart výrobního procesu, FMEA, Projekt - APQP, Vzorkování - PPAP, VDA 2, Kontrolní plány a návodky
Monitorování	Vstupní a výstupní kontrola, Mezioperační kontrola, Statistické přejímky, SPC - ISO 21747, VDA 4
Neshody	Monitorování neshod, Dodavatelské a zákaznické reklamace, Global 8D Report, Ishikawa
Metrologie	Řízení měřících prostředků dle zákona 505/90 Sb., ISO/IEC 17025, EA 04/02, MSA, VDA 5
Údržba	Preventivní údržba, životnost, opravy a náklady nástrojů a nástrojů, Výdejna náradí
Události	Správa kontaktů, Řízení úkolů a opatření, Elektronický archiv, Reporting - vytěžování dat
Audity	Management auditů dle ISO 19011, ISO/TS, VDA 6.3, VDA 6.5
Dokumentace	Řízená dokumentace QM, EMS, ISO 18001, Externí dokumentace
Procesy	Identifikace, popisy a znázornění procesů, výcvik a vzdělávání, požadavky pracovních míst a plnění

Hlavní výhoda spočívá v tom, že jednotliví uživatelé se přihlašují do programu pod přidělenými uživatelskými jmény a tudíž jimi zapsaná data jsou jasně přiřaditelná k dané osobě i času. Vše je prováděno automaticky a provedený zápis již není možné změnit.

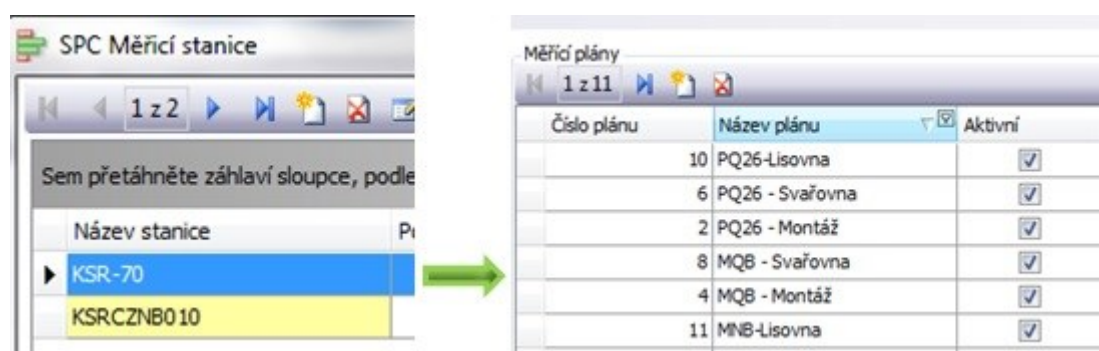
Vzhledem k velkému rozsahu těchto modulů se Diplomová práce zaměřuje na popis navrhovaného řešení vztahující se k modulům SPC a SPC měřicích stanic. Příklady SPC regulace jsou vztaženy k dílům projektu MLB. Navrhovaná řešení se budou používat i pro všechny ostatní projekty v rámci firmy.



Obrázek 17 – Instalované moduly Palstat CAQ

4.2 Přiřazení měřicích plánů

Software je nainstalován v síti a je k dispozici na jednotlivých počítačích, které jsou definované jako samostatné měřicí stanice. Každý z počítačů v síti má přidělené specifické kontrolní plány, tj. počítač na svařovně obsahuje pouze regulované díly a jejich jednotlivé kóty ze svařovny. Výhodou tohoto řešení je, že definovaní uživatelé programu mají přístup pouze k vybraným dílům a jejich regulovaným znakům dle procesů a nemusí vyhledávat ve velkém množství dat. V případě, že je projekt vyřazen ze série, je v nastavení vyškrtnuto aktivní a měřicí plán se již nezobrazuje uživateli v nabídce. Na obrázku 18 je ukázka nastavení, celý rozsah měřicích plánů není možné uvést.



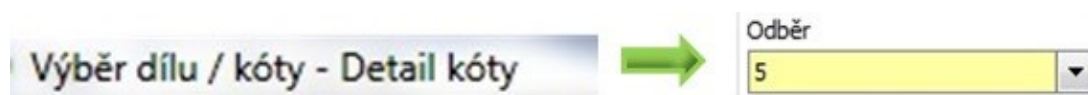
Obrázek 18 – Měřicí stanice – měřicí plány

4.3 Definice názvů měřicích plánů

Názvy měřicích plánů jsou definovány **názvem projektu, pomlčkou a názvem procesů**, např. PQ 26 – Svařovna, jak ukazuje obrázek 18.

4.4 Volba vhodného rozsahu výběru

Čím je rozsah větší, tím je regulační diagram citlivější na změny procesu. Vzhledem k vyráběnému množství dílů byl zvolen interval dle požadavků zákazníků a doporučení normy. Zvolil jsem rozsah 5 kusů podskupiny, jak ukazuje obrázek 19. Program umožňuje tento rozsah měnit. V případě změny tohoto rozsahu jsou regulovaná data uložena do archivu.



Obrázek 19 – Volba rozsahu a četnosti výběru

4.5 Volba kontrolního intervalu

Zvolil jsem ho tak, aby se projeví všechny významné změny v procesu např. v závislosti na době provozu zařízení, míře významnosti kontrolovaného parametru, velikosti výrobní dávky, výrobní kapacitě atd. U stabilních procesů volím delší kontrolní interval pro před sériovou výrobou. Po vyhodnocení dojde k přehodnocení a zmenšení nebo naopak zvětšení kontrolního intervalu. Kontrolní interval je možné nastavit v rozsahu minut, hodin nebo dnů. Ukázka nastavení je na obrázku 20.



Obrázek 20 – Volba kontrolního intervalu

4.6 Volba typu regulačního diagramu

Podle typu charakteristik (měřitelné, atributivní) jsou zvoleny jednotlivé typy regulačních diagramů. Pro atributivní i měřitelné znaky (program používá termín kóty) jak ukazují obrázky 21 a 22. Pro regulaci srovnáním atributivních znaků byl zvolen RD typu u, který zobrazuje obrázek 22. Pro měřitelné znaky pro regulaci měřením byl zvolen regulační diagram typu $\bar{X}R$ vzhledem k jeho univerzálnosti a variabilitě použití. Ukázka diagramu je na obrázku 24. Software umožňuje výběr a regulaci pro všechny základní varianty Shewhartových RD pro atributivní i variabilní znaky, jak ukazují obrázky 23 a 24. Nastavení pro jednotlivé měřitelné, atributivní znaky je detailně vyobrazeno v příloze C.

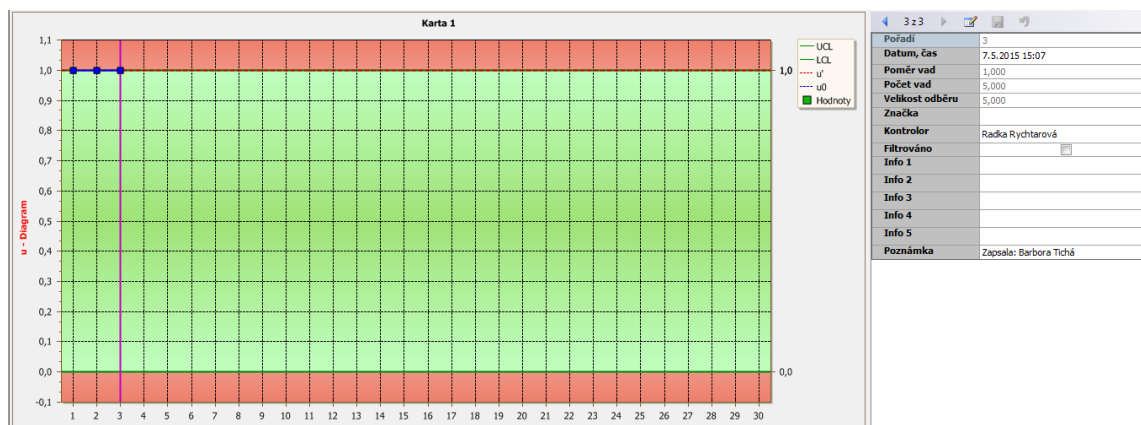
Typ kóty

☐ Variabilní znak
☒ Atributivní znak
☐ Hodnocení stroje
☐ Statistické hodnocení

Diagram

☒ p
☐ np
☐ c
☐ u

Obrázek 21 – Atributivní znaky



Obrázek 22 – U regulační diagram

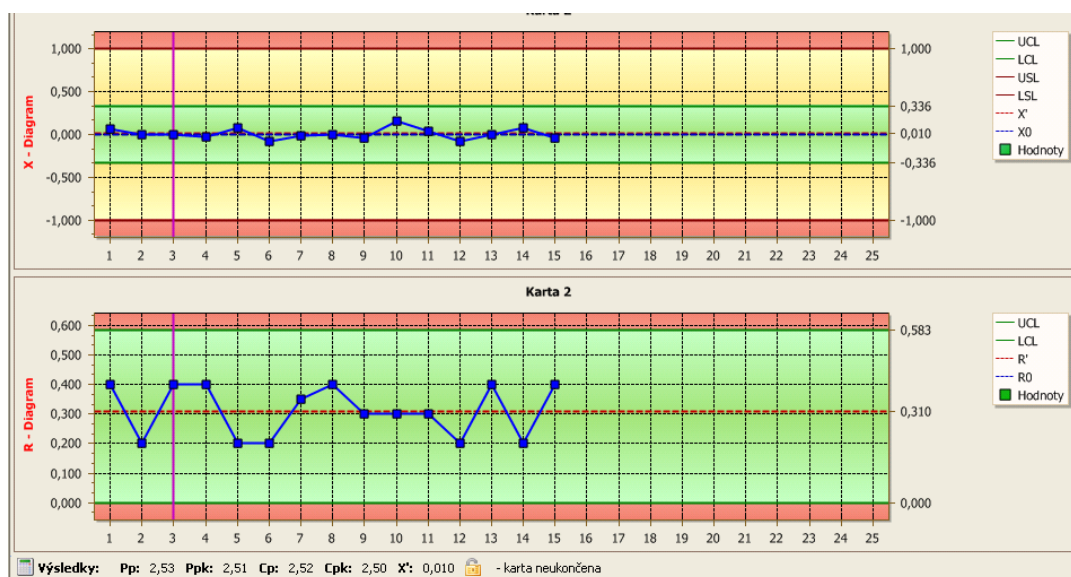
Typ kóty

☒ Variabilní znak
☐ Atributivní znak
☐ Hodnocení stroje
☐ Statistické hodnocení

Diagram

☒ $\bar{X}/R - \bar{X}/S$
☐ Me-R

Obrázek 23 – Variabilní znaky regulační digram



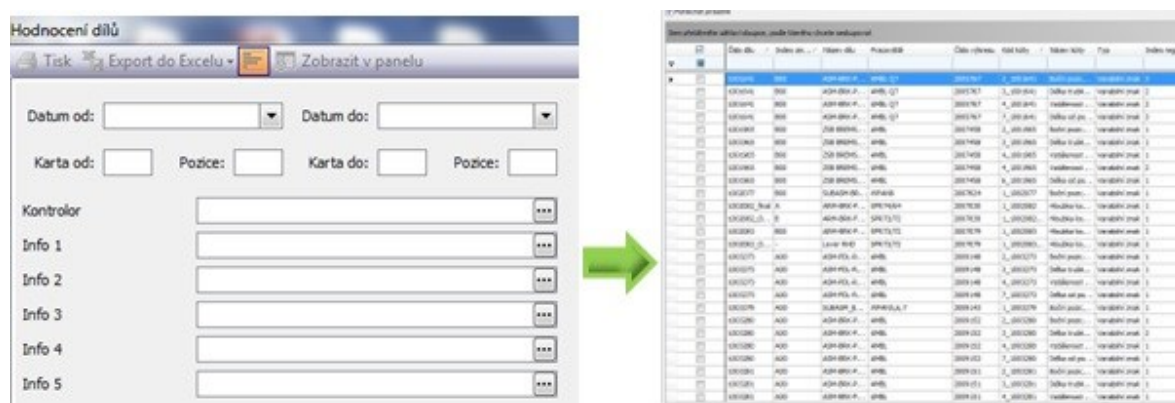
Obrázek 24 – $\bar{X}R$ regulační diagram

4.7 Sběr a záznam dat

Po dobu čtyř měsíců bylo prováděno sledování dlouhodobé způsobilost a následné vyhodnocení za pomoci regulačních karet. Současně došlo k vyhodnocení těchto regulačních karet.

4.8 Vyhodnocení předběžné a dlouhodobé způsobilosti procesů

Při vyhodnocení způsobilosti procesů pro jednotlivé znaky byl využit modul SPC a jeho funkce. Hodnocení dílů ukazuje obrázek 25, kde je možné vybrat hodnocení dle jednotlivých projektů dílů či jednotlivých měřicích osob, času, období a dalších údajů uvedených v tabulce.



Obrázek 25 – Výběr dat pro hodnocení regulovaných znaků

4.8.1 Vyhodnocení variabilních znaků

U variabilních znaků byl proveden výpočet předběžné způsobilosti indexů P_p , P_{pk} a jejich porovnání s hodnotou P_p , P_{pk} 1,67, následně je prováděno vyhodnocování dlouhodobé způsobilosti indexů C_p , C_{pk} se zákazníkem požadované hodnotě C_p , C_{pk} 1,37. Ukázka vyhodnocení indexů je na obrázku 26. Zbývající vyhodnocení je uvedeno v technické zprávě [18].

Díl:	1001641	Index změny:	B00	Název:	ASM-BRK-PDL-RHD-AT-3.9-SPORT
Kóta:	2_100164	Boční pozice 239,1 +/- 2,5 mm	Stroj:	Montáž AMBL_Q7	Otisk: 1
JR:	239,1	X': 239,521	Odběrů:	28	
DT:	236,6	R: 3,33	Mimo tol.:	0	P_p 1,85 C_p 3,07
HT:	241,6	S: 0,449	Značek:	0	P_{pk} 1,54 C_{pk} 2,55

Obrázek 26 – Vyhodnocení indexů pro variabilní znaky

4.8.2 Vyhodnocení atributivních znaků

Současně bylo provedeno vyhodnocení množství vad u jednotlivých atributivních znaků se současným vyhodnocením hodnoty PPM. Ukázka vyhodnocení jednoho znaku je na obrázku 27. Ostatní provedené vyhodnocení je uvedeno v technické zprávě. [18]

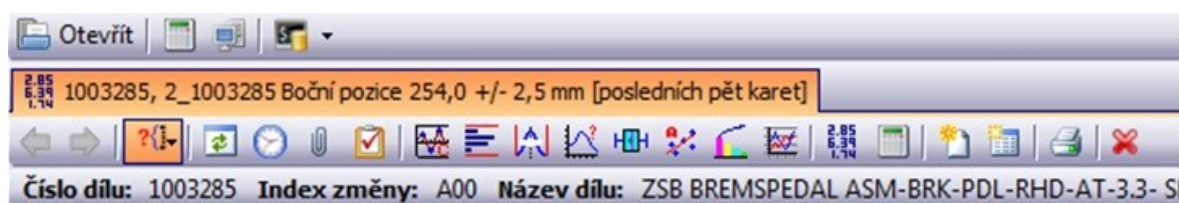
Díl:	1003413	Index změny:	A00	Název:	ASM-BRK-PDL-RHD-ST-3.9/ Q7
Kóta:	1_10034	Zaklipování plastový držák posilovače	Stroj:	Montáž AMBL_Q7	Otisk: 1
	13	4x			
Odběrů:	25	Kusů: 125	Vadných 0	Značek: 0	PPM: 0

Obrázek 27 – Vyhodnocení atributivních znaků

4.9 Analýza jednotlivých regulačních znaků

Pro jednotlivé regulované znaky jsou pro provedení bližší analýzy a odhalení příčin variability a zmetkovitosti připraveny pro jednotlivé znaky (kóty) níže uvedené možnosti.

- Filtrace RD
- Zobrazení RD
- Histogram
- Test normálního rozdělení
- Paterova analýza
- Naměřené hodnoty
- Tisk



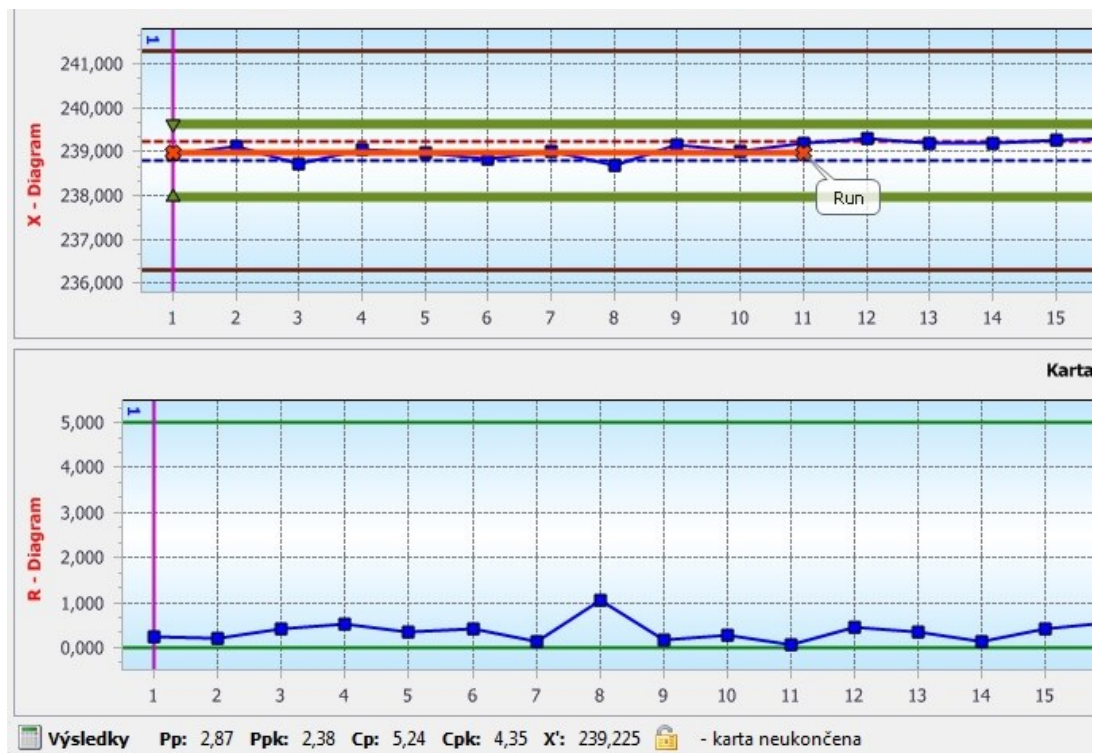
Obrázek 28 – Vyhodnocení atributivních znaků

4.9.1 Filtrace zobrazení RD

Jednotlivé regulované znaky je možné filtrovat podle počtu zobrazovaných regulačních karet za určité období, posledních pěti záznamů, jedné regulační karty, popřípadě všechny záznamy.

4.9.2 Regulační karta

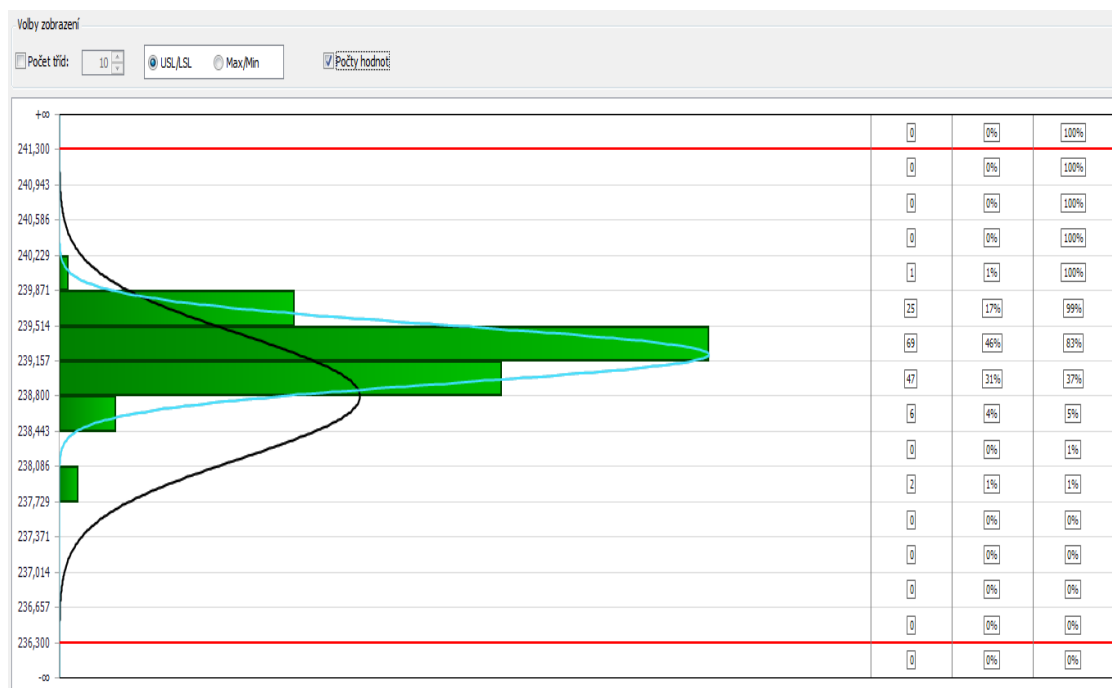
Je prováděna analýza hodnoty jednotlivých indexů a také je hodnocena poloha statistického souboru dat na výsledné křivce vůči ideální poloze dat. Ukázka vyhodnocení je na obrázku 29.



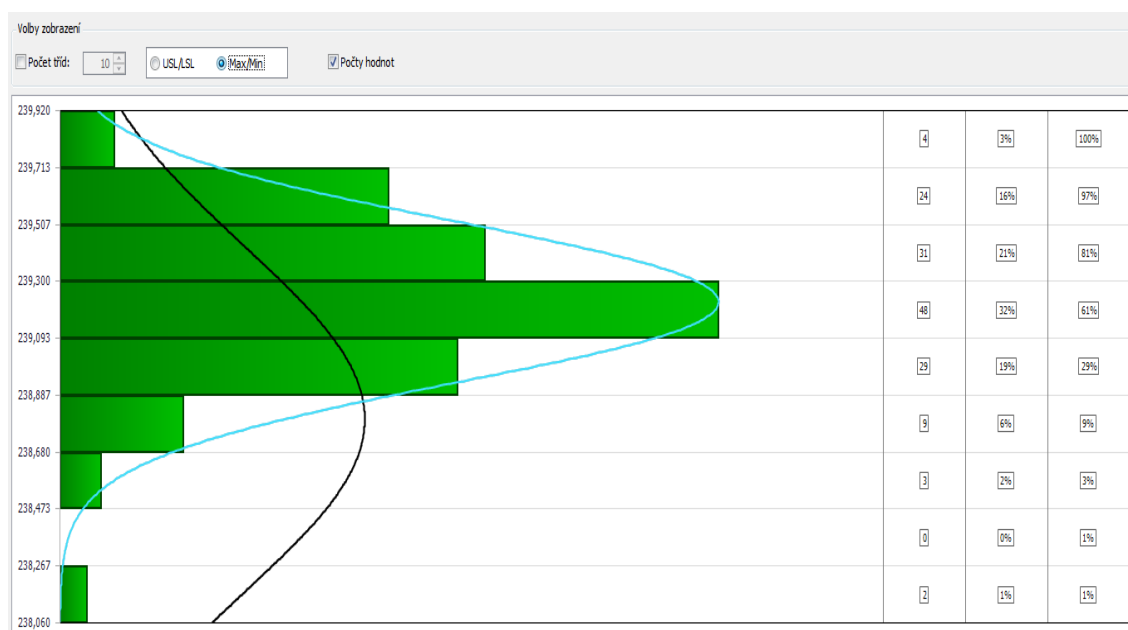
Obrázek 29 – Regulační karta

4.9.3 Histogram

Umožňuje vyhodnocení dat četnosti výskytu hodnot pro jednotlivé intervaly, včetně procentuálního vyjádření poměru ve statistickém souboru dat dle jednotlivých četností výskytu. Je možnost volby množství počtu tříd. Histogram se zobrazuje ve vztahu ke spodní a horní toleranci dat, tak jak ukazuje obrázek 30 nebo je možné upravit zobrazení na analýzu maximální a minimální hodnoty, který je na obrázku 31. Černá křivka v grafu ukazuje ideální data, modrá křivka zobrazuje skutečnou polohu dat.



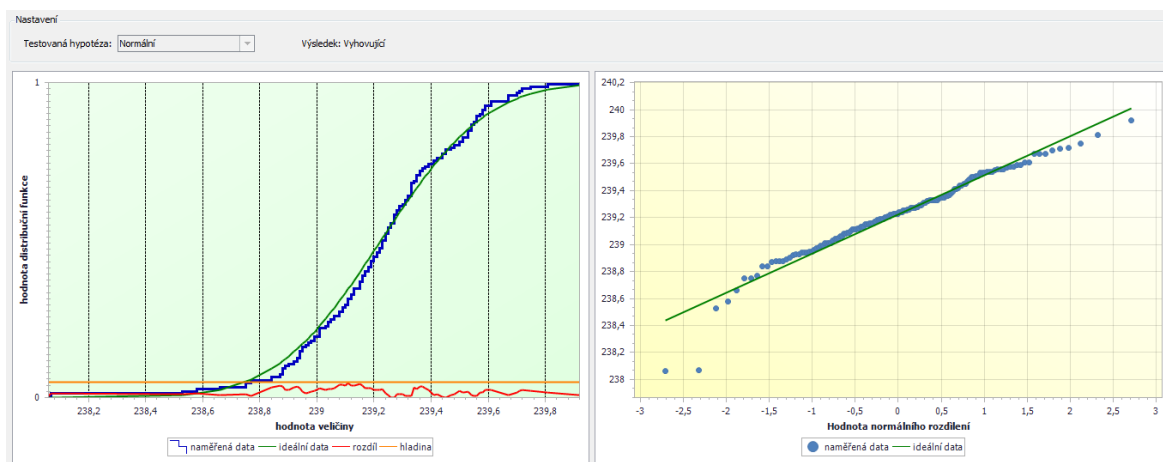
Obrázek 30 – Histogram UCL/ LCL



Obrázek 31 – Histogram max min

4.9.4 Test normálního rozdělení

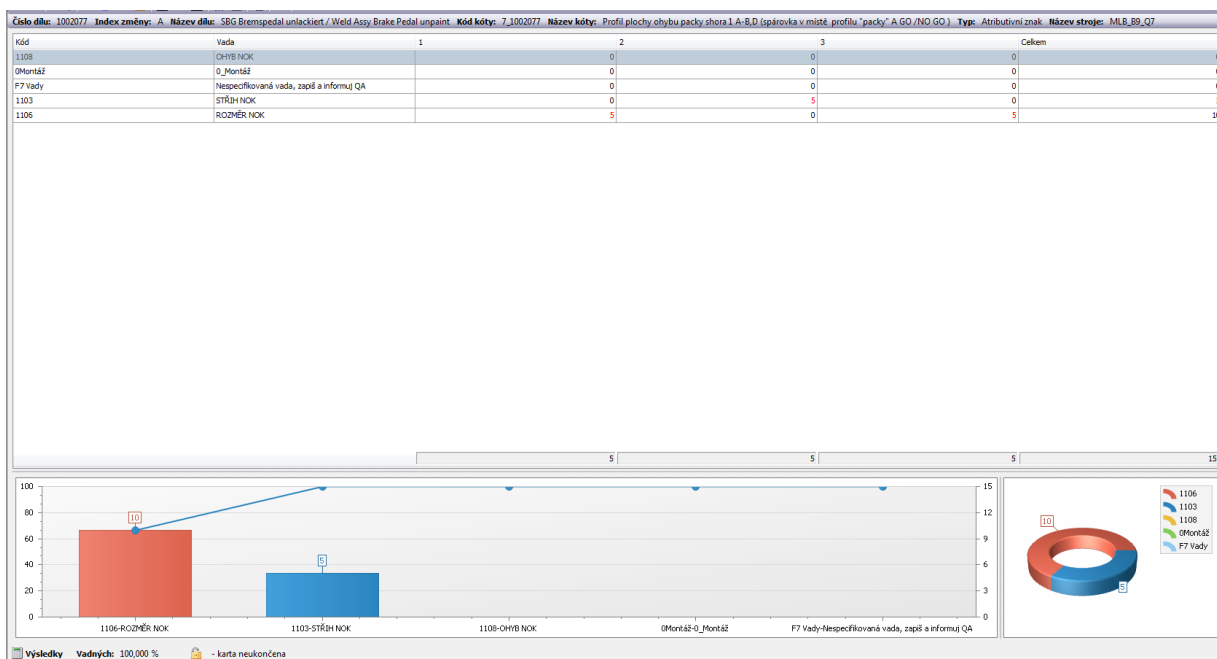
V této sekci se provádí testy dat, zda hodnota distribuční funkce a jednotlivé hodnoty náměrových veličin splňují podmínky normálního rozdělení. Na grafu je vidět poloha jednotlivých dat vůči ideální křivce, obrázek 32.



Obrázek 32 – Vyhodnocení testu normálního rozdělení

4.9.5 Pareto analýza

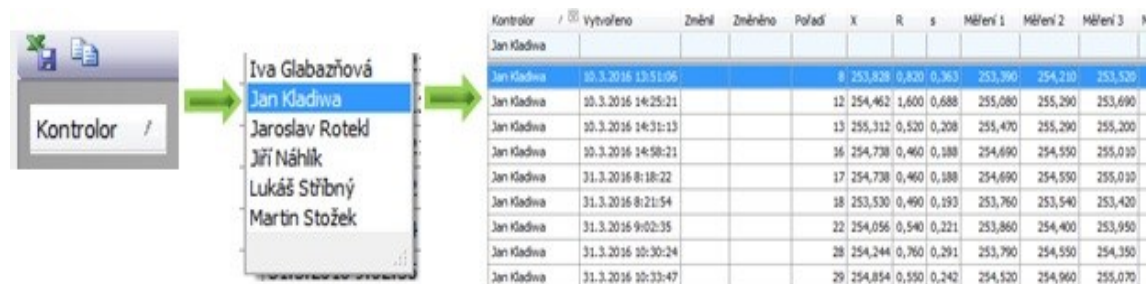
U atributivních znaků bylo provedeno vyhodnocení vad pomocí Paretova diagramu, ukázka vyhodnocení je na obrázku 33.



Obrázek 33 – Vyhodnocení vad pro atributivní znaky

4.9.6 Naměřené hodnoty

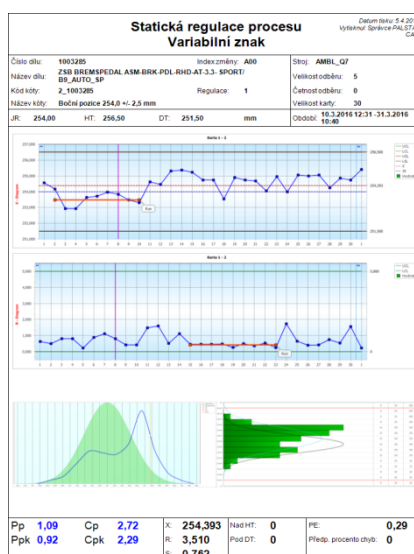
Výše uvedené vyhodnocení se vztahovalo pouze k vyhodnocení dat SPC. V sekci naměřená data je možné analyzovat podle zvoleného kritéria. Mnou zvolené kritérium je jméno kontrolované osoby. Vyhodnocuje se především kvalita měření a dodržování předepsaných měřicích intervalů u jednotlivých pracovníků oddělení inspektora kvality. Pro detailnější analýzy dat je možné data exportovat do souboru v Excelu pro vytvoření prezentací. Ukázku vyhodnocení naměřených hodnot zobrazuje obrázek 34.



Obrázek 34 – Analýza kvality měření

4.9.7 Tisk

Aby bylo možné data získaná z vyhodnocení tisknout i zasílat ve všech běžných formátech xls, pdf atd. jsou v programu přednastaveny tiskové sestavy, které umožňují souhrn předchozích modulů do jedné souhrnné zprávy obsahující popis regulovaného znaku, RD, histogram a polohu dat vůči ideální křivce. Ukázka tiskové sestavy je na obrázku 35. Z důvodu utajení firemních dokumentů jsou tiskové sestavy uvedeny v technické zprávě. [18]

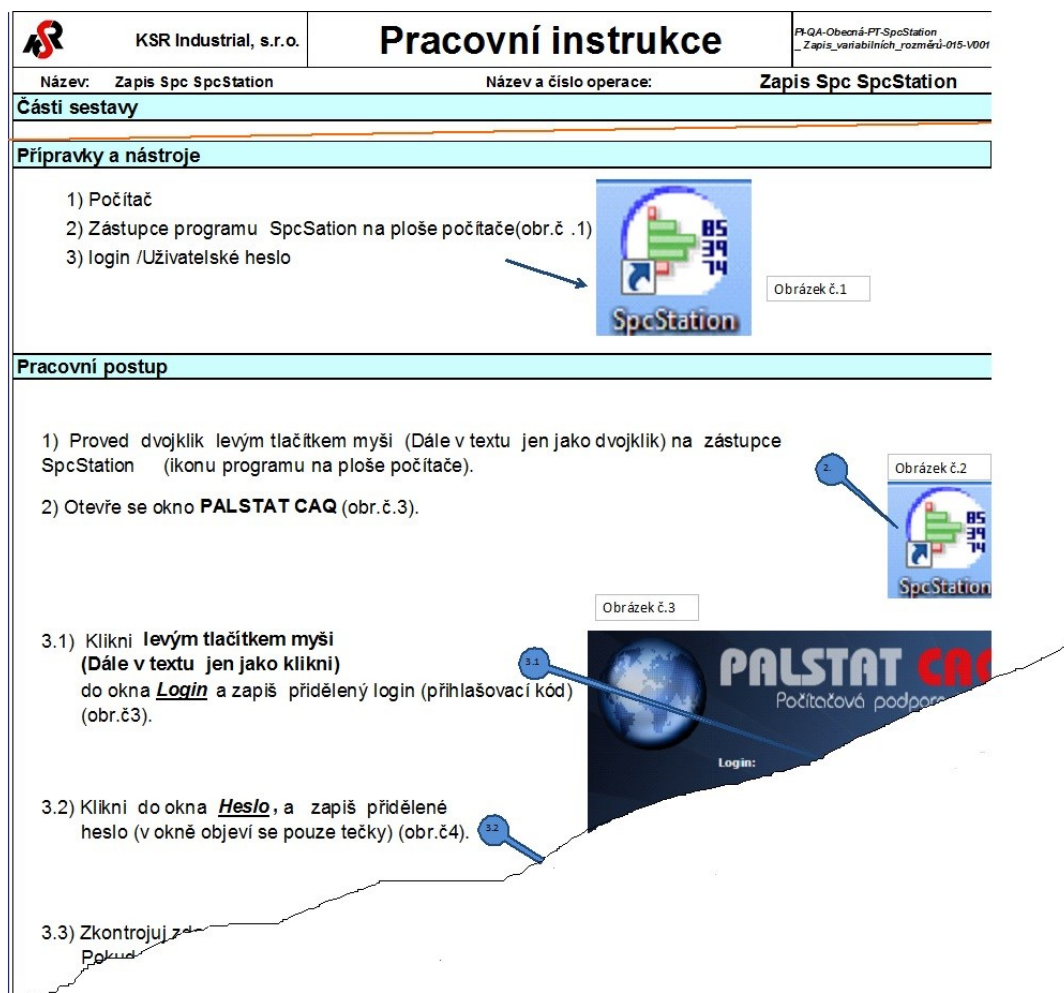


Obrázek 35 – Tisk vyhodnocení vad pro atributivní znaky

4.9.8 Pracovní instrukce pro zavedení SPC

Kromě základních manuálů dodávaných výrobcem softwaru na základě výše uvedených zkušeností byly vytvořeny pracovní instrukce umožňující nasazení SPC i pro jiné výrobní procesy v rámci firmy. Ukázku instrukcí uvádím na obrázku 36. Z důvodu utajení firemních dokumentů je první instrukce vložena do technické zprávy.[18] Vzhledem k velkému rozsahu instrukcí nejsou všechny instrukce součástí diplomové práce.

- Instrukce pro zápis atributivních znaků.
- Instrukce pro zápis variabilních dat.
- Založení nového variabilního znaku.
- Založení atributivního znaku.
- Oprava zapsaných dat.



Obrázek 36 – Pracovní instrukce

5 Celkové zhodnocení přínosu práce

Obsahem kapitoly je popis jednotlivých výhod, ale i nevýhod navrhovaného řešení, návrhy na jejich odstranění, včetně ekonomického zhodnocení.

5.1 Souhrn teorie týkající SPC

V rámci diplomové práce byl proveden souhrn teoretických požadavků týkajících se statistické regulace pro všechny základní varianty RD pro atributivní, tak i pro variabilní znaky. Informace uvedené v práci budou sloužit jako školící materiál pro nové pracovníky neznalé principů statistické regulace.

Důležitou částí v první kapitole je Postup pro volbu regulačního diagramu, který bude využíván při volbě RD, který bude použit pro konkrétní regulovaný znak.

Pro pracovníky, kteří provádějí zápis a regulaci v rámci RD bude užitečná Tabulka 4 – Kritéria pro zjištění zvláštních příčin procesů, která objasňuje základní kritéria, jak rozpoznat nestabilitu v rámci procesů, která je v příloze D doplněna o grafické ukázky seskupení, které ukazují typické příklady pro detekci zvláštních příčin.

5.2 Softwarové řešení statistické regulace

Výhodou navrhovaného systému je vzájemné propojení jednotlivých modulů. Dále použití dat mezi jednotlivými částmi programu, které tvoří databáze dílů, databáze uživatelů, grafický editor, kontakty, kontrolní a technické postupy, Reporting Viewer, SPC, SPC měřicí stanice, úkoly, které tvoří ucelený softwarový systém CAQ.

Nevýhodou tohoto řešení jsou vyšší nároky na uživatelskou znalost softwaru a nutnost zaškolení. Tuto nevýhodu řeší vytvořené pracovní instrukce.

5.3 Přiřazení měřicích plánů

Výhodou tohoto řešení je, že definovaní uživatelé programu mají přístup pouze k vybraným dílům na základě volby specifických kontrolních plánů. Každý z počítačů v síti obsahuje pouze regulované znaky pro daný z počítačů. Na základě definice názvů měřicích plánů je možno nastavit rychlé filtrování dílů dle projektů a procesů i čísla dílů, což dále ulehčuje a zrychluje práci.

Například počítač na provozu svařovny obsahuje pouze regulované znaky ze svařovny. Výhodou řešení je, že uživatel nemusí dlouze vyhledávat ve velkém množství RD. Starší

vyřazené měřicí plány se již nezobrazují uživatelům, ale jsou zároveň k dispozici v archivu.

5.4 Volba vhodného rozsahu výběru

Výhodou softwarového řešení je, že regulace není pevně nastavena na rozsah výběru 5 z přichozího řešení a je možné je nastavit dle požadavku zákazníků a procesů.

5.5 Volba kontrolního intervalu

Kontrolní interval se dá nastavovat v rozsahu minut, hodin nebo dnů a současně je možné sledovat dodržování zápisu naměřených dat, protože součástí zapsaných údajů je systémový datum a čas.

5.6 Volba typu regulačního diagramu

V navrhovaném řešení je možné provádět regulaci jak pro znaky měřitelné (variabilní), tak i porovnávací (atributivní) znaky. Jsou k dispozici všechny základní varianty Shewhartových RD.

5.7 Vyhodnocení předběžné a dlouhodobé způsobilosti procesů

Na základě výběru jednotlivých znaků je umožněno rychlé vyhodnocení způsobilosti procesů pro jednotlivé znaky. Volba hodnocení je možná dle jakéhokoli z údajů uvedených v databázi.

5.7.1 Vyhodnocení variabilních znaků

U variabilních dat jsou k dispozici okamžitě indexy předběžné způsobilosti P_p , P_{pk} , včetně vyhodnocování indexů dlouhodobé způsobilosti C_p , C_{pk} . Výsledky vyhodnocení jsou uvedeny v technické zprávě.[18]

5.7.2 Vyhodnocení atributivních znaků

U atributivních znaků jsou k dispozici hodnoty PPM a Pareto vad. Vyhodnocení je uvedeno v technické zprávě. [18]

5.8 Analýza jednotlivých regulačních znaků

Hlavní výhody tohoto řešení budou popsány v kapitole níže.

5.8.1 Filtrace zobrazení RD

Údaje RD je možné zobrazit dle jednotlivých voleb posledních pět záznamů, jedna regulační karta, popřípadě všechny záznamy regulované veličiny.

5.8.2 Histogram

V této části je nastavena rychlá volba zobrazení histogramu mezi volbou histogramu vůči spodní a horní toleranci. Nebo je možné histogram zobrazit vůči maximální a minimální hodnotě. Výsledek je vždy v porovnání oproti ideální křivce normálního rozdělení dat.

5.8.3 Test normálního rozdělení

Rychlý přístup k hodnotě, zda data splňují podmínky normálního rozdělení, včetně grafické hodnoty distribuční funkce a jednotlivých hodnot na grafu.

5.8.4 Pareto analýza

Umožňuje analýzu u atributivních dat dle seznamu předem definovaných vad, včetně grafického zobrazení na grafu pro jednotlivé vady.

5.8.5 Naměřené hodnoty

Zde je uveden výpis jednotlivých naměřených hodnot dle podskupin. Podskupiny jsou tvořeny záznamy z jednotlivých měření. Data vad u atributivních RD je možné dále filtrovat dle všech kritérií, které jsou databázi zapsány jako například času, data, pracovníka a dalších. Za pomoci filtrace naměřených dat vztahujících se k SPC dle zvoleného kritéria je možné data analyzovat. Sleduje se dodržování kontrolních intervalů jednotlivých pracovníků a porovnávají se naměřené hodnoty mezi jednotlivými pracovníky.

Nevýhodou je nutnost exportu dat do Excelu kvůli detailnější analýze dat a vytvoření případné prezentace.

5.8.6 Tisk

Dodává získaným datům grafickou podobu dle předem definované tiskové sestavy k popisu regulovaného znaku. Tisková sestava může být nastavena pro více jazykových verzí.

5.8.7 Pracovní instrukce pro zavedení SPC

Vytvořené manuály umožní rychlejší a snadnější zavedení SPC v rámci firmy. Současně budou sloužit pro pravidelná školení nových pracovníků.

5.9 Vyhodnocení regulace ve vztahu ke spokojenosti zákazníka

Hlavní přínosy spočívají v níže uvedených bodech kapitoly.

5.9.1 Snížení počtu reklamací

Tiskové sestavy umožňují v grafické podobě prezentaci získaných dat, což vede ke snížení reklamací a větší stabilitě procesu na základě provedené analýzy dat.

5.9.2 Rychlý online přístup

Ucelenost a komplexnost systému, v němž jsou uvedeny všechny informace na jednom místě, umožňuje pracovníkům oddělení kvality rychlý přístup k aktuálním informacím o regulovaných znacích dle různých kritérií.

5.9.3 Zpětná vazba pro kvalitu jednotlivých inspektorů kvality

Systém vytváří tlak na dodržování předepsaných kontrolních intervalů v kontrolních plánech s vědomím, že čas kontroly je zapsaný v databázi ze systémového času.

5.10 Ekonomický přínos práce

Celkové náklady na nové řešení tykající se času zápisu na jeden RD, včetně vyčíslení ročních nákladů na novou verzi SPC jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16 – Náklady nová verze SPC

Nová verze RD							
P.č.	Činnost	Týdně *	Čas na jednu RD	Hodinová sazba 300 Kč/hod	Náklady na jeden den	Měsíční náklady	Roční náklady
	na RD	Počet Rd /ks	Sekund	Náklady Kč / vteřinu	Kč (1 den)	Kč (30 dnů)	Kč (365 dnů)
1	Vyhledání RD	62	1	0,08	5 Kč	155 Kč	1 886 Kč
2	Otevření	62	12	0,08	62 Kč	1 860 Kč	22 630 Kč
3	Zápis dat do RD	62	160	0,08	827 Kč	24 800 Kč	301 733 Kč
4	Převod dat do sloupců	62	0	0,08	0 Kč	0 Kč	0 Kč
5	Nakopírování dat do Minitabu	62	0	0,08	0 Kč	0 Kč	0 Kč
6	Vyhodnocení dat	62	10	0,08	52 Kč	1 550 Kč	18 858 Kč
7	Pojmenování a uložení RD	62	10	0,08	52 Kč	1 550 Kč	18 858 Kč
Celkové náklady		-	180	0,42 Kč	930 Kč	27 900 Kč	339 450 Kč

Na základě provedeného měření časů v tabulce 16 uvádím vyčíslení celkových ročních finančních i časových úspor v prvním roce. Tabulka 18 obsahuje výpočet zohledňující cenu zakoupených licencí programu.

Tabulka 17 – Porovnání nákladů nové a původní verze SPC v prvním roce

	Čas na jednu RD	Náklady na jeden den	Měsíční náklady	Roční náklady
	Sekund	Kč (1 den)	Kč (30 dnů)	Kč (365 dnů)
Roční provozní náklady původní řešení	240	1 240 Kč	37 200 Kč	452 600 Kč
Roční provozní náklady nového řešení v prvním roce	180	930 Kč	27 900 Kč	339 450 Kč
Úspora provozních nákladů nového řešení		310 Kč	9 300 Kč	113 150 Kč
Náklady na pořízení software v prvním roce	-	227 Kč	6 822 Kč	83 000 Kč
Celkové náklady v prvním roce	-	1 157 Kč	34 722 Kč	422 450 Kč
Celkové úspory v prvním roce	60	310 Kč	9 300 Kč	30 150 Kč

V následujících letech je nutno započítat roční náklady 10.000 Kč na servisní smlouvu. Vypočítaná roční úspora v dalších letech činí sto tři tisíc korun českých pro každý z následujících roků používání CAQ Palstat.

* Všechny výpočty vycházejí z počtu zapsaných RD v roce 2015.

Tabulka 18 – Náklady v dalších letech

	Náklady v 1. roce	Roční náklady v dalších letech
Náklady na pořízení software	83 000 Kč	0 Kč
Náklady na licence a aktualizace	0 Kč	10 000 Kč
Celková roční úspora provozních nákladů	113 150,00 Kč	113 150,00 Kč
Čistá roční úspora*	30 150,00 Kč	103 150,00 Kč

6 Závěr

Předložená diplomová práce obsahuje v první kapitole vysvětlení základní terminologie spojené s problematikou statistické regulace procesů. Kapitola je zpracovaná tak, aby mohla sloužit jako teoretický školící materiál v dané firmě. V následující kapitole je provedena analýza současného stavu SPC v organizaci, včetně identifikování problémových míst a jejich závažností. V návaznosti na identifikované nedostatky bylo navrženo využít softwarového řešení statistické regulace procesů. Součástí práce bylo vypracování interní instrukce sloužící jako pracovní manuál a v neposlední řadě též jako vstupní školící materiál. Součástí práce je ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Cílem diplomové práce bylo zavést SPC regulaci na prevenci a předcházení vad v procesu za použití statistické regulace a regulačních diagramů. Tato metoda je dnes rozšířena v celé řadě výrobních odvětví. V mnoha firmách je metoda používána, ale není zcela pochopena a je brána jako přítěž s odůvodněním, že ve výrobě není čas a musí se vyrábět. Hlavní výhodou navrhovaného řešení je snadný a rychlý přístup k hodnotám dlouhodobé stability procesů, včetně jejich následné analýzy získaných dat dle různých kritérií včetně jejich testování. Vytvořené pracovní instrukce umožní rychlejší pochopení zavedeného řešení. Což při dnešní fluktuaci zaměstnanců zkracuje dobu nutnou k úspěšnému zaškolení nových pracovníků. Další výhodou je snadné rozšíření celého systému v jednotlivých modulech. Současně jsem se snažil o vytvoření manuálu pro zavádění statického řízení procesů. Soupis teorie v první části včetně příloh a vytvořené instrukce budou dále sloužit jako školící materiály pro pracovníky ve společnosti KSR Industrial, s.r.o. k regulaci jakéhokoliv z procesů.

Z ekonomického hlediska se takto zavedený systém má pozitivně projevit na vyšší stabilitě všech využívaných procesů a současně povede ke snížení nákladů spojených s interními a externími reklamacemi dílů. Z vyčíslených nákladů je jasně patrné, že investice do nového softwarového vybavení se firmě velmi rychle vrátí. A v následujících letech je čistý zisk, snížený již pouze o aktualizací licence. Tyto výsledky jsou zcela jasně pozitivním stimulem pro dodržování již nastavených pravidel.

Závěrem se dá konstatovat, že pokud bude nový návrh správně pochopen a používán dle všech pravidel, povede aplikace této metody k vysoké stabilitě vyráběných procesů a to povede ke snížení nákladů spojených s výrobou neshodných dílů a vícenákladů spojených s reklamacemi zákazníků, neboť stěžejním cílem je zajištění spokojenosti koncového zákazníka, která vede pouze cestou zajištění kvality produkováných výrobků.

7 Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí diplomové práce paní Ing. Ivaně Šajdlerové, Ph.D za vedení a cenné rady. Současně bych chtěl poděkovat hlavnímu auditorovi společnosti KSR Industrial s.r.o., panu Jozefu Pastorkovi za odborné připomínkování a vstřícnost. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Aleně Jurkové za připomínkování ekonomických přínosů práce. A v neposlední řadě bych chtěl velmi poděkovat své rodině, která mi vytvořila podmínky pro napsání této diplomové práce a za jejich podporu v průběhu celého mého studia.

8 Seznam použitých pramenů

- [1] MICHÁLEK, Jiří. *Statistická regulace procesu (SPC)*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.
- [2] KŘEPELA, Josef. *Sbírka úloh ze statistiky*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2004. ISBN 80-02-01674-2.
- [3] MICHÁLEK, Jiří aj. *Pokročilé metody SPC s příklady z praxe*: Česká společnost pro jakost, 2013. ISBN 978-80-0425-5.
- [4] NENADAL, Jaroslav aj. *Moderní management jakosti*. Brno: Management Press, 2011. ISBN 978-80-726-186-7.
- [5] OTIPKA, Petr, a Vladislav ŠMAJSTRLA. Pravděpodobnost a statistika. *IDOC*. [Online] 2007. [Citace: 15. 4 2011.] <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP05/PRAV5.HTM>.
- [6] ŠAJDLEROVÁ, Ivana. *Organizace a řízení*. Ostrava: VŠB -TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2003.
- [7] About Us. KSR INTERNATIONAL CO. *Ksrint* [online]. 2014 [vid. 2014-10-19]. Dostupné z: <http://www.ksrint.com/about-us/>
- [8] Contact Us. KSR INTERNATIONAL CO. *Ksrint* [online]. 2014 [vid. 2014-10-19]. Dostupné z: <http://www.ksrint.com/contact-us/>
- [9] KSR Industrial, s.r.o: *Obchodní rejstřík* [online]. [vid. 2014-10-22]. Dostupné z: <http://obchodnirejstrik.cz/ksr-industrial-s-r-o-27227049/>
- [10] HELLEBRAND, Petr. *Zlepšování systému řízení kvality*. Ostrava, 2011. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra Katedra mechanické technologie.
- [11] Akční skupina KSR *Supplier Quality Manual* [online]. 2007. [vid. 2015-05-07]. ISBN. Dostupné z: http://www.ksrint.com/wp-content/uploads/2012/02/KSR_Supplier_Quality_Manual.pdf
- [12] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001. ISBN 80-7226-543-1.
- [13] HUTYRA, Milan a kol. *Management jakosti*. Ostrava: VŠB – TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1484.
- [14] ČSN ISO 8258. *Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 35, Třídící znak 01 0271.
- [15] VW 101 30. *Prověrka způsobilosti stroje pro měřitelné charakteristiky*. Wolfsburg: Volkswagen AG, ©2005.

- [16] Task team *Statistical Process Control (SPC)* Automotive Industry Action Group, 2005 ISBN 978-1-60-534108-8
- [17] Palstat: Palstat *CAQ-KVALITA –JAKOST* [online]. [vid. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.palstat.cz/kvalita/> Vrchlabí, Palstat s.r.o. ©1992
- [18] Hellebrand, Petr. *Technická zpráva*. Ostrava, 2016. Technická zpráva. KSR Industrial s.r.o Opava,

9 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 – ROZDĚLENÍ	17
OBRÁZEK 2 – NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ [3,5,15]	17
OBRÁZEK 3 – ZMĚNY V ROZDĚLENÍ DAT DLE ROZDÍLNÝCH HLEDISEK	18
OBRÁZEK 4 – ZPŮSOBILOST PROCESŮ [10]	20
OBRÁZEK 5 – ZPŮSOBILOST PROCESŮ VERSUS STABILITA PROCESŮ [1, AUTOR]	21
OBRÁZEK 6 – REGULAČNÍ DIAGRAM	23
OBRÁZEK 7 – POSTUP PRO VOLBU REGULAČNÍHO DIAGRAMU [1]	26
OBRÁZEK 8 – REGULAČNÍ DIAGRAM – X R STATISTICKY NEZVLÁDNUTÝ (NESTABILNÍ) PROCES	34
OBRÁZEK 9 – REGULAČNÍ DIAGRAM – X R STATISTICKY ZVLÁDNUTÝ (STABILNÍ) PROCES	34
OBRÁZEK 10 – REGULAČNÍ DIAGRAM – U PRO POČET NESHOD NA JEDNOTKU V PODSKUPINĚ	36
OBRÁZEK 11 – ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ SPOLEČNOSTI [7,8]	39
OBRÁZEK 12 – ZÁKLADNÍ STRUKTURA A VÝROBNÍ TOKY KSR	40
OBRÁZEK 13 – ZÁKLADNÍ STRUKTURA TVORBY VÝROBNÍ DOKUMENTACE KSR	42
OBRÁZEK 14 – PŘEPIS DAT DO PODOBY VHODNÉ PRO VYHODNOCENÍ	43
OBRÁZEK 15 – PŘEPIS DAT DO PODOBY VHODNÉ PRO VYHODNOCENÍ	44
OBRÁZEK 16 – UKÁZKA VYHODNOCENÍ SPC V MINITABU	45
OBRÁZEK 17 – INSTALOVANÉ MODULY PALSTAT CAQ	52
OBRÁZEK 18 – MĚŘÍCÍ STANICE – MĚŘÍCÍ PLÁNY	52
OBRÁZEK 19 – VOLBA ROZSAHU A ČETNOSTI VÝBĚRU	53
OBRÁZEK 20 – VOLBA KONTROLNÍHO INTERVALU	53
OBRÁZEK 21 – ATRIBUTIVNÍ ZNAKY	54
OBRÁZEK 22 – U REGULAČNÍ DIAGRAM	54
OBRÁZEK 23 – VARIABILNÍ ZNAKY REGULAČNÍ DIGRAM	54
OBRÁZEK 24 – XR REGULAČNÍ DIAGRAM	54
OBRÁZEK 25 – VÝBĚR DAT PRO HODNOCENÍ REGULOVANÝCH ZNAKŮ	55
OBRÁZEK 26 – VYHODNOCENÍ INDEXŮ PRO VARIABILNÍ ZNAKY	55
OBRÁZEK 27 – VYHODNOCENÍ ATRIBUTIVNÍCH ZNAKŮ	56
OBRÁZEK 28 – VYHODNOCENÍ ATRIBUTIVNÍCH ZNAKŮ	56
OBRÁZEK 29 – REGULAČNÍ KARTA	57
OBRÁZEK 30 – HISTOGRAM UCL/ LCL	58
OBRÁZEK 31 – HISTOGRAM MAX MIN	58
OBRÁZEK 32 – VYHODNOCENÍ TESTU NORMÁLNÍHO ROZDĚLENÍ	59
OBRÁZEK 33 – VYHODNOCENÍ VAD PRO ATRIBUTIVNÍ ZNAKY	59
OBRÁZEK 34 – ANALÝZA KVALITY MĚŘENÍ	60
OBRÁZEK 35 – TISK VYHODNOCENÍ VAD PRO ATRIBUTIVNÍ ZNAKY	60
OBRÁZEK 36 – PRACOVNÍ INSTRUKCE	61

10 Seznam tabulek

TABULKA 1 – UKAZATELE PROCESŮ [16]	22
TABULKA 2 – ZÁKLADNÍ TYPY REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ PRO ATRIBUTIVNÍ VELIČINY	24
TABULKA 3 – ZÁKLADNÍ TYPY REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ	25
TABULKA 4 – KRITÉRIA PRO ZJIŠTĚNÍ ZVLÁŠTNÍ PŘÍČIN PROCESŮ [16]	33
TABULKA 5 – HODNOCENÍ ČTYŘ KRITÉRIÍ TŘEMI EXPERTY [6]	37
TABULKA 6 – BODOVÉ HODNOCENÍ KRITÉRIÍ [6]	38
TABULKA 7 – ZVLÁŠTNÍ ZNAKY SPOLEČNOSTI [11, AUTOR]	41
TABULKA 8 – ROČNÍ NÁKLADY NA REGULAČNÍ KARTY	46
TABULKA 9 – SOUHRN SLABÝCH MÍST SOUČASNÉHO ŘEŠENÍ SPC	46
TABULKA 10 – BODOVÉ VYHODNOCENÍ EXPERT 1	48
TABULKA 11 – BODOVÉ VYHODNOCENÍ EXPERT 2	48
TABULKA 12 – BODOVÉ VYHODNOCENÍ EXPERT 3	49
TABULKA 13 – BODOVÉHO VYHODNOCENÍ [6]	49
TABULKA 14 – POŘADÍ DŮLEŽITOSTI SLABÝCH MÍST	50
TABULKA 15 – MODULY PALSTAT CAQ [17]	51
TABULKA 16 – NÁKLADY NOVÁ VERZE SPC	65
TABULKA 17 – POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NOVÉ A PŮVODNÍ VERZE SPC V PRVNÍM ROCE	66
TABULKA 18 – NÁKLADY V DALŠÍCH LETECH	66

11 Seznam příloh

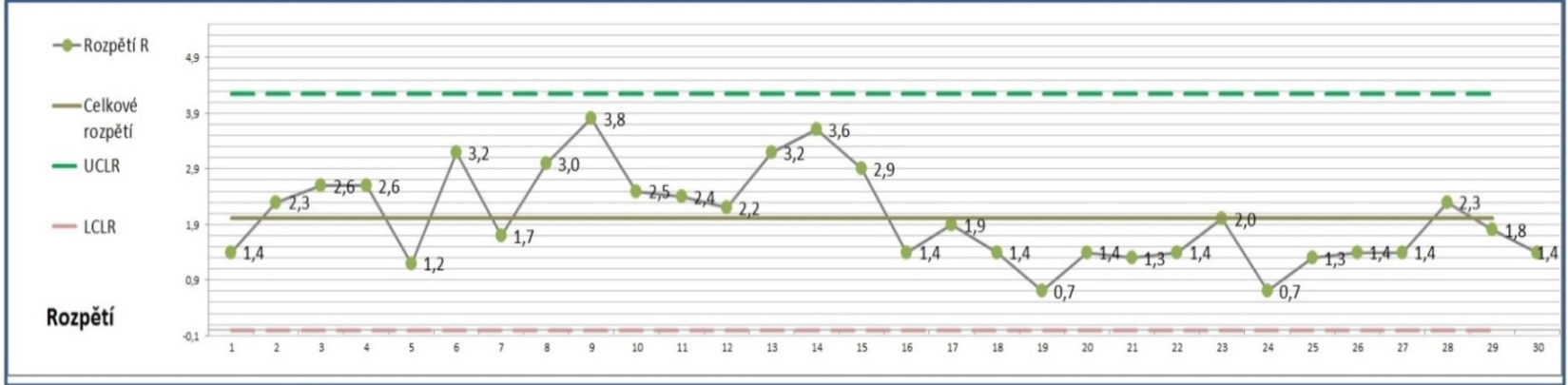
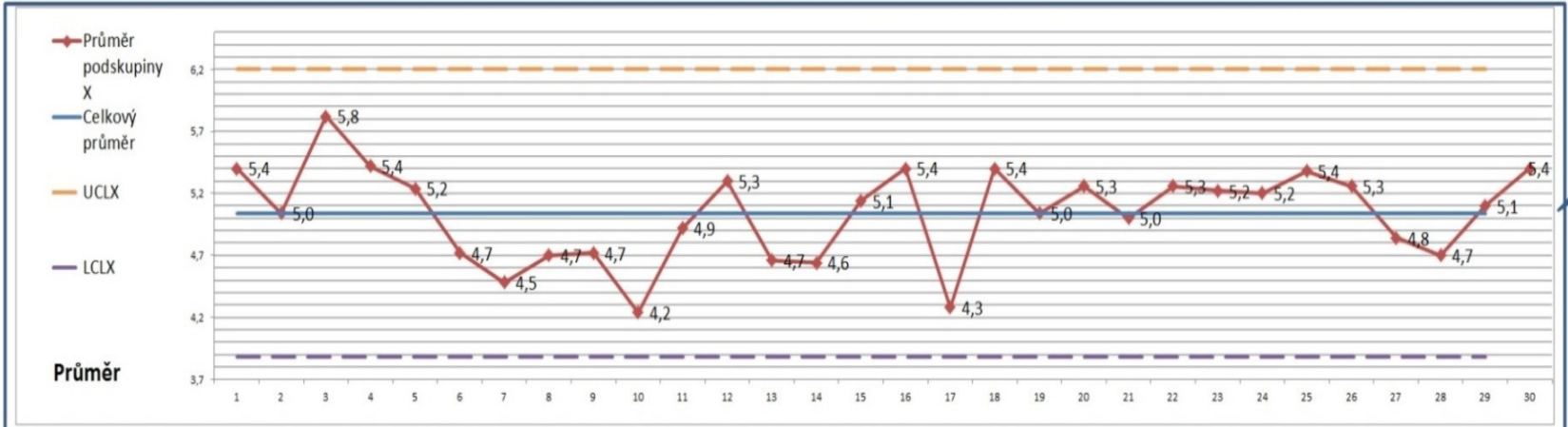
PŘÍLOHA A REGULAČNÍ DIAGRAMY S VÝPOČTOVÝMI VZORCI	74
PŘÍLOHA B REGULAČNÍ DIGRAM – X R	75
PŘÍLOHA C VÝBĚR DÍLŮ / KÓTY VARIABILNÍ A ATRIBUTIVNÍ REGULAČNÍ DIGRAMŮ	76
PŘÍLOHA D SESKUPENÍ PRO DETEKCI ZVLÁŠTNÍCH PŘÍČIN [14]	77
PŘÍLOHA E TABULKY KONSTANT PRO VÝPOČET REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ XR , XS [1].....	78
PŘÍLOHA F TABULKY KONSTANT PRO VÝPOČET REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ MED R , XR [1].....	79

Příloha A Regulační diagramy s výpočtovými vzorci

Regulovaná veličina		Typ regulačního diagramu	Označení dle SPC [16, 1]	Popis diagramu	Výpočtové vzorce
Regulační diagramy pro spojité veličiny	Regulační diagramy pro spojité veličiny	Regulační diagram průměru a rozpětí	\bar{X}, R	Regulační karta používaná pro menší rozsahy podskupin, zpravidla pět a méně. Pro <u>regulační diagram polohy</u> sledovaného znaku je použit <u>aritmetický průměr</u> vypočtený z podskupiny. Pro <u>regulační diagram variability</u> je použito <u>varianční rozpětí</u> vypočtené jako rozdíl největší a nejmenší hodnoty podskupiny. <u>Výhodou</u> je možná aplikace bez potřeby počítačové podpory, len s použitím kalkulačky. <u>Nevýhodou</u> je menší citlivost na změnu variability v podskupině, pokud se nemění minimální a maximální hodnota.	Aritmetický průměr: $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ Variačné rozpětí: $R = x_{\max} - x_{\min}$ Centrální přímkka diagramu průměru: $CL_{\bar{X}} = \bar{X}$ Horní regulační mez diagr. průměru: $UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$ Dolní regulační mez diagr. průměru: $LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$ Centrální přímkka diagramu rozpětí: $CL_R = \bar{R}$ Horní regulační mez diagr. rozpětí: $UCL_R = D_4 \bar{R}$ Dolní regulační mez diagr. rozpětí: $LCL_R = D_3 \bar{R}$
		Regulační diagram mediánu a rozpětí	\tilde{X}, R	Regulační karta používaná pro malé rozsahy podskupin, nejčastěji do pět. Z hlediska složitosti výpočtů se jedná o nejsnadnější regulační diagram pro spojité data. <u>Poloha</u> regulovaného znaku je kontrolována prostřednictvím <u>mediánu</u> . <u>Variabilita</u> je sledována <u>variačním rozpětím</u> . <u>Výhodou</u> je aplikace diagramu při absenci počítačové podpory a proto jednoduché statistické výpočty polohy (mediánu) a polohy (rozpětí). <u>Nevýhodou</u> je nižší citlivost obou diagramů na změny sledované veličiny.	Medián pro lichý počet jednotek: $\tilde{X} = x_{(n+1)/2}$ pro sudý počet jednotek: $\tilde{X} = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2}$ Variančné rozpětí: $R = x_{\max} - x_{\min}$ Centrální přímkka diagramu mediánu: $CL_{\tilde{X}} = \tilde{X}$ Horní regulační mez diagr. mediánu: $UCL_{\tilde{X}} = \tilde{X} + A_2 \bar{R}$ Dolní regulační mez diagr. mediánu: $LCL_{\tilde{X}} = \tilde{X} - A_2 \bar{R}$ Centrální přímkka diagramu rozpětí: $CL_R = \bar{R}$ Horní regulační mez diagr. rozpětí: $UCL_R = D_4 \bar{R}$ Dolní regulační mez diagr. rozpětí: $LCL_R = D_3 \bar{R}$
		Regulační diagram průměru a směrodatné ochylky	\bar{X}, s	Regulační karta vhodná pro velké výrobní dávky. Tento typ karty je zejména pro hromadnou výrobu. Doporučený rozsah podskupin je minimálně 5 jednotek v podskupině. <u>Poloha</u> regulovaného znaku je zastoupena <u>aritmetickým průměrem</u> . <u>Variabilita</u> je kontrolována <u>směrodatní odchylkou</u> . <u>Výhodou</u> je nejpresnější způsob regulace v kombinaci s nejlepší citlivostí obou diagramů. <u>Nevýhoda</u> této regulační karty je nevyhnutnost počítačové podpory pro regulaci a potřeba většího počtu jednotek v podskupinách.	Aritmetický průměr: $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ Směrodatní odchylka: $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ Centrální přímkka diagramu průměru: $CL_{\bar{X}} = \bar{X}$ Horní regulační mez diagr. průměru: $UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$ Dolní regulační mez diagr. průměru: $LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$ Centrální přímkka diagramu směrodat. odchylky: $CL_s = \bar{s}$ Horní regulační mez diagr. směrodat. odchylky: $UCL_s = B_4 \bar{s}$ Dolní regulační mez diagr. směrodat. odchylky: $LCL_s = B_3 \bar{s}$
		Regulační diagram idividuálních hodnot a klouzavých rozpětí	X, MR	Regulační karta používaná pro malé výrobní dávky. Tento typ regulační karty je vhodný například při regulaci znaku/veličiny, která se kontroluje nebo testuje destruktivně. <u>Poloha</u> regulovaného znaku je sledována individuálními hodnotami. <u>Variabilita</u> procesu je kontrolována prostřednictvím klouzavých rozpětí. <u>Výhodou</u> je nasazení, které si nevyhnutně nevyžaduje počítačovou podporu, protože pro regulaci individuálních hodnot se žádný výpočet neprovádí a pro klouzavé rozpětí je počítá jenom rozdíl dvou posledních naměřených hodnot. <u>Nevýhodou</u> je vysoká citlivost obou diagramů na každou naměřenou hodnotu.	Individuální hodnota: $X = x_i$ Klouzavé rozpětí: $MR = x_i - x_{i-1} $ Centrální přímkka diagramu průměru: $CL_X = \bar{X}$ Horní regulační mez diagr. průměru: $UCL_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}$ Dolní regulační mez diagr. průměru: $LCL_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}$ Centrální přímkka diagramu rozpětí: $CL_R = \bar{R}$ Horní regulační mez diagr. rozpětí: $UCL_R = D_4 \bar{R}$ Dolní regulační mez diagr. rozpětí: $LCL_R = D_3 \bar{R}$
	Regulační diagramy pro abtributivní veličiny	Regulační diagram pro počet neshodných	np	Tento typ diagramu si vyžaduje konstattní rozsah podskupiny a rozsah výběru má být taký, aby počet zjištěných neshodných jednotek byl nejméně pět.	Centrální přímkka: $CL_{np} = \bar{np}$ Horný regulační mez: $UCL_{np} = \bar{np} + 3 \sqrt{\bar{np}(1 - \frac{\bar{np}}{n})}$ Dolní regulační mez: $LCL_{np} = \bar{np} - 3 \sqrt{\bar{np}(1 - \frac{\bar{np}}{n})}$ $CL_{np} = \bar{np}$
		Regulační diagram pro podíl neshodných jednotek	p	Tento typ diagramu si vyžaduje rozsah výběru má být taký, aby počet zjištěných neshodných jednotek byl nejméně pět.	Centrální přímkka: $CL_p = \bar{p}$ Horný regulační mez: $UCL_{p1} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_1}}$ Dolní regulační mez: $LCL_{p1} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_1}}$
		Regulační digram pro počet neshod	c	Tento diagram požaduje rozsah podskupiny konstattní a dostatečně velký, aby počet podskupin bez chyb byl co nejmenší.	Centrální přímkka: $CL_c = \bar{c}$ Horný regulační mez: $UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ Dolní regulační mez: $LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
		Regulační diagram pro počet neshod na jednotku	u	Tento diagram požaduje rozsah podskupiny dostatečně velký, aby počet podskupin bez chyb byl co nejmenší.	Centrální přímkka: $CL_u = \bar{u}$ Horný regulační mez: $UCL_u = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$ Dolní regulační mez: $UCL_u = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$

Příloha B regulační digram – \bar{X} R

Název výrobku	Charakteristika číslo	Znak	Specifikace	Rozsah podskupiny	Kontrolní interval	Datum zahájení	Datum ukončení
Brzdová sestava	D_03	průměr čepu	5,0+/-5,0 mm	5	co 4 hodiny	1.1.2016	15.1.2016
Operace	Stroj	Měřidlo	Celkový průměr Průměrné rozpětí		UCL _x LCL _x		UCL _R LCL _R
510	AMLB	P003215	5,04 2,00		6,2 3,9		4,26 0



Podskupina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
čas	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
datum	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
x1	5,4	4,8	7,2	4,7	4,5	5,7	4,9	6	5,9	3,5	3,9	5,6	3,8	5,3	3,2	5,4	3,2	5,4	4,8	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	4,5	5,4	5,4	5,4	
x2	6,2	6,3	4,6	4,3	5,7	4,2	3,7	3	3,9	5,7	4,2	4,5	3,2	6,3	6,1	6,2	4,5	6,2	5	6,2	4,2	6,2	6,2	5,2	6,1	6,2	5,2	5,6	5,8	6,2
x3	5,5	4	5,6	6,9	5,3	2,7	4,3	5,3	6,5	3,2	6,2	5,4	4,9	2,7	5,5	5,5	3,8	5,5	5,5	4,8	5,5	4,8	5,5	5,5	5,5	4,8	4,9	3,3	5,5	5,5
x4	5,1	6	5,1	6,8	5,4	5,1	4,1	3,9	2,7	3,6	6,3	4,4	5	4,4	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	4,2	5,1	5,1	5,1	4,1	5,4	4	5,1
x5	4,8	4,1	6,6	4,4	5,3	5,9	5,4	5,3	4,6	5,2	4	6,6	6,4	4,5	5,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	5,5	3,8	4,8	4,8
Součet	27,0	25,2	29,1	27,1	26,2	23,6	22,4	23,5	23,6	21,2	24,6	26,5	23,3	23,2	25,7	27,0	21,4	27,0	25,2	26,3	25,0	26,3	26,1	26,0	26,9	26,3	24,2	23,5	25,5	27,0
Průměr podskupiny X	5,4	5,0	5,8	5,4	5,2	4,7	4,5	4,7	4,7	4,2	4,9	5,3	4,7	4,6	5,1	5,4	4,3	5,4	5,0	5,3	5,0	5,3	5,2	5,2	5,4	5,3	4,8	4,7	5,1	5,4
Rozpětí R	1,4	2,3	2,6	2,6	1,2	3,2	1,7	3,0	3,8	2,5	2,4	2,2	3,2	3,6	2,9	1,4	1,9	1,4	0,7	1,4	1,3	1,4	2,0	0,7	1,3	1,4	1,4	2,3	1,8	1,4
Ideální průměr	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Celkový průměr	5,04	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Celkové rozpětí	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Střed rozpětí	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
UCL _x	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
LCL _x	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88
UCL _R	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,3
LCL _R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A2	D4	D3
0,577	2,114	0,000

Příloha C výběr dílů / kóty variabilní a atributivní regulační digramů

Výběr dílů / kóty - Detail kóty

Typ kóty

☒ Variabilní znak

☐ Atributivní znak

☐ Hodnocení stroje

☐ Statistické hodnocení

Diagram

☒ $\bar{X}/R - \bar{X}/S$

☐ Me-R

Regulační meze

☐ Toleranční pole

☒ Přirozené

☐ Dle Pp

1,33

Údaje kóty

Kód kóty

Název kóty

Index regulace

Otisk

Název otisku

Stav

2_1003413

Boční pozice 238,8 +/- 2,5 mm

1

1

Aktivní - výrobní

Stroj

JR

HT

DT

X0

Desetiny

Jednotka

AMBL_Q7

238,8

241,3

236,3

238,8

2

mm

Odběr

Velikost karty

Rozdělení

Klasifikace

Měřidlo

Info 2

5

30

Normální

KPEC

Úchylkoměr

Souhrnná karta vad

Kód

Název vady

Pořadí

Měřicí stanice

Četnost měření

Jednotka četnosti

2

hodiny

Vzorec

Korekce

[Prázdné]

Seznam

Detail dílu

Detail kóty

Nové okno

Otevřít

Storno

Výběr dílů / kóty - Detail kóty

Typ kóty

☐ Variabilní znak

☒ Atributivní znak

☐ Hodnocení stroje

☐ Statistické hodnocení

Diagram

☐ p

☐ np

☐ c

☒ u

Regulační meze

☐ Toleranční pole

☒ Přirozené

☐ Dle Pp

1,33

Údaje kóty

Kód kóty

Název kóty

Index regulace

Otisk

Název otisku

Stav

1_1003281

Zaklápování plastový držák posilovače 4x

1

1

Aktivní - výrobní

Stroj

JR

HT

DT

X0

Desetiny

Jednotka

AMBL_Q7

3

1

0

2

Odběr

Velikost karty

Rozdělení

Klasifikace

Měřidlo

Info 2

5

25

2

Souhrnná karta vad

Kód

Název vady

Pořadí

6001

NOK komponenty KSR

3

6002

NOK komponent dodavatel

2

7000

Nespecifikovaná vada, zapíš do poznámky, informuj QA

1

Měřicí stanice

Četnost měření

Jednotka četnosti

0

minuty

Vzorec

Korekce

[Prázdné]

Seznam

Detail dílu

Detail kóty

Nové okno

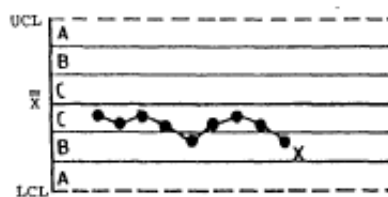
Otevřít

Storno

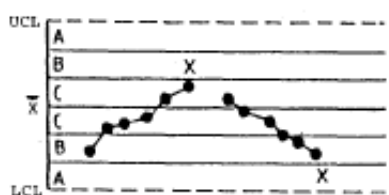
Příloha D Seskupení pro detekci zvláštních příčin [14]



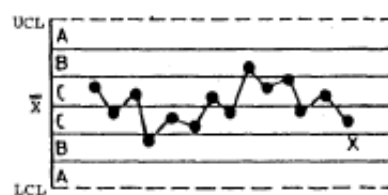
Test 1: Jeden bod leží za zónou A



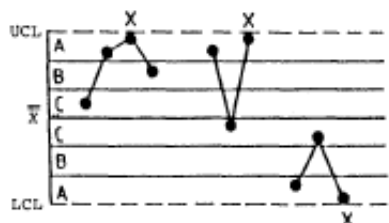
Test 2: Devět bodů v řadě za sebou leží v zóně C nebo za ní



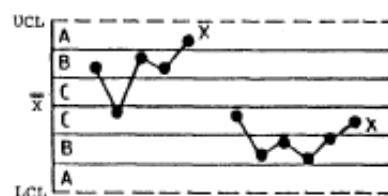
Test 3: Šest bodů v řadě za sebou je ply-nule stoupajících nebo klesajících



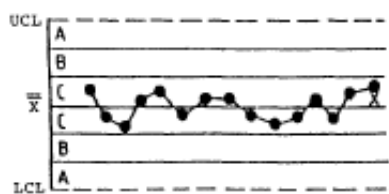
Test 4: Čtrnáct bodů v řadě za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů



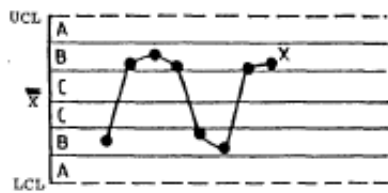
Test 5: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni



Test 6: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo na ní



Test 7: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou)



Test 8: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách od centrální přímkou, avšak žádný bod neleží v zóně C

Příloha E Tabulky konstant pro výpočet regulačních diagramů XR , Xs [1]

	Diagram (Xbar,R)				Diagram (Xbar, s)			
	Diagramy pro průměry	Diagram pro R			Diagram pro průměry	Diagram pro s		
	Součinitel pro regulační meze	Dělitel pro odhad σ_x	Součinitele pro regulační meze		Součinitel pro regulační meze	Dělitel pro odhad σ_x	Součinitele pro regulační meze	
Rozsah podskupiny	A ₂	d ₂	D ₃	D ₄	A ₃	c ₄	B ₃	B ₄
2	1,880	1,128	-----	3,267	2,659	0,7979	-----	3,267
3	1,023	1,693	-----	2,574	1,954	0,8862	-----	2,568
4	0,729	2,059	-----	2,282	1,628	0,9213	-----	2,266
5	0,577	2,326	-----	2,114	1,427	0,9400	-----	2,089
6	0,483	2,534	-----	2,004	1,287	0,9515	0,030	1,970
7	0,419	2,704	0,076	1,924	1,182	0,9594	0,118	1,882
8	0,373	2,847	0,136	1,864	1,099	0,9650	0,185	1,815
9	0,667	2,970	0,184	1,816	1,032	0,9693	0,239	1,761
10	0,308	3,078	0,223	1,777	0,975	0,9727	0,284	1,716
11	0,285	3,173	0,256	1,740	0,927	0,9754	0,321	1,679
12	0,266	3,258	0,283	1,717	0,886	0,9776	0,354	1,646
13	0,249	3,336	0,307	1,693	0,850	0,9794	0,382	1,648
14	0,235	3,407	0,328	1,672	0,817	0,9810	0,406	1,594
15	0,223	3,472	0,347	1,653	0,789	0,9823	0,428	1,572
16	0,212	3,532	0,363	1,637	0,763	0,9835	0,448	1,552
17	0,203	3,588	0,378	1,622	0,739	0,9845	0,466	1,534
18	0,194	3,640	0,391	1,608	0,718	0,9854	0,482	1,518
19	0,187	3,689	0,403	1,597	0,698	0,9862	0,497	1,503
20	0,180	3,735	0,415	1,585	0,680	0,9869	0,510	1,490
21	0,173	3,778	0,425	1,575	0,663	0,9876	0,523	1,477
22	0,167	3,819	0,434	1,566	0,647	0,9882	0,534	1,466
23	0,162	3,858	0,443	1,557	0,633	0,9887	0,545	1,455
24	0,157	3,895	0,451	1,548	0,619	0,9892	0,555	1,445
25	0,153	3,931	0,459	1,541	0,606	0,9896	0,565	1,435

Příloha F Tabulky konstant pro výpočet regulačních diagramů Med R , XR [1]

Rozsah podskupin y	Diagram (Med, R)				Diagram (X, R)			
	Diagramy pro mediány	Diagram pro R			Diagram pro individuální hodnoty	Diagram pro R		
		Součinitel pro regulační meze	Dělitel pro odhad σ_x	Součinitelé pro regulační meze		Součinitel pro regulační meze	Dělitel pro odhad σ_x	Součinitelé pro regulační meze
	A_2	d_2	D_3	D_4	E_2	d_2	D_3	D_4
2	1,880	1,128	-----	3,267	2,660	1,128	-----	3,267
3	1,187	1,693	-----	2,574	1,772	1,693	-----	2,574
4	0,796	2,059	-----	2,282	1,457	2,059	-----	2,282
5	0,691	2,326	-----	2,114	1,290	2,326	-----	2,114
6	0,548	2,534	-----	2,004	1,184	2,534	-----	2,004
7	0,508	2,704	0,076	1,924	1,109	2,704	0,076	1,924
8	0,433	2,847	0,136	1,864	1,054	2,847	0,136	1,864
9	0,412	2,970	0,184	1,816	1,010	2,970	0,184	1,816
10	0,362	3,078	0,223	1,777	0,975	3,078	0,223	1,777